This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Over dit boek

Dit is een digitale kopie van een boek dat al generaties lang op bibliotheekplanken heeft gestaan, maar nu zorgvuldig is gescand door Google. Dat doen we omdat we alle boeken ter wereld online beschikbaar willen maken.

Dit boek is zo oud dat het auteursrecht erop is verlopen, zodat het boek nu deel uitmaakt van het publieke domein. Een boek dat tot het publieke domein behoort, is een boek dat nooit onder het auteursrecht is gevallen, of waarvan de wettelijke auteursrechttermijn is verlopen. Het kan per land verschillen of een boek tot het publieke domein behoort. Boeken in het publieke domein zijn een stem uit het verleden. Ze vormen een bron van geschiedenis, cultuur en kennis die anders moeilijk te verkrijgen zou zijn.

Aantekeningen, opmerkingen en andere kanttekeningen die in het origineel stonden, worden weergegeven in dit bestand, als herinnering aan de lange reis die het boek heeft gemaakt van uitgever naar bibliotheek, en uiteindelijk naar u.

Richtlijnen voor gebruik

Google werkt samen met bibliotheken om materiaal uit het publieke domein te digitaliseren, zodat het voor iedereen beschikbaar wordt. Boeken uit het publieke domein behoren toe aan het publiek; wij bewaren ze alleen. Dit is echter een kostbaar proces. Om deze dienst te kunnen blijven leveren, hebben we maatregelen genomen om misbruik door commerciële partijen te voorkomen, zoals het plaatsen van technische beperkingen op automatisch zoeken.

Verder vragen we u het volgende:

+ *Gebruik de bestanden alleen voor niet-commerciële doeleinden* We hebben Zoeken naar boeken met Google ontworpen voor gebruik door individuen. We vragen u deze bestanden alleen te gebruiken voor persoonlijke en niet-commerciële doeleinden.

+ *Voer geen geautomatiseerde zoekopdrachten uit* Stuur geen geautomatiseerde zoekopdrachten naar het systeem van Google. Als u onderzoek doet naar computervertalingen, optische tekenherkenning of andere wetenschapsgebieden waarbij u toegang nodig heeft tot grote hoeveelheden tekst, kunt u contact met ons opnemen. We raden u aan hiervoor materiaal uit het publieke domein te gebruiken, en kunnen u misschien hiermee van dienst zijn.

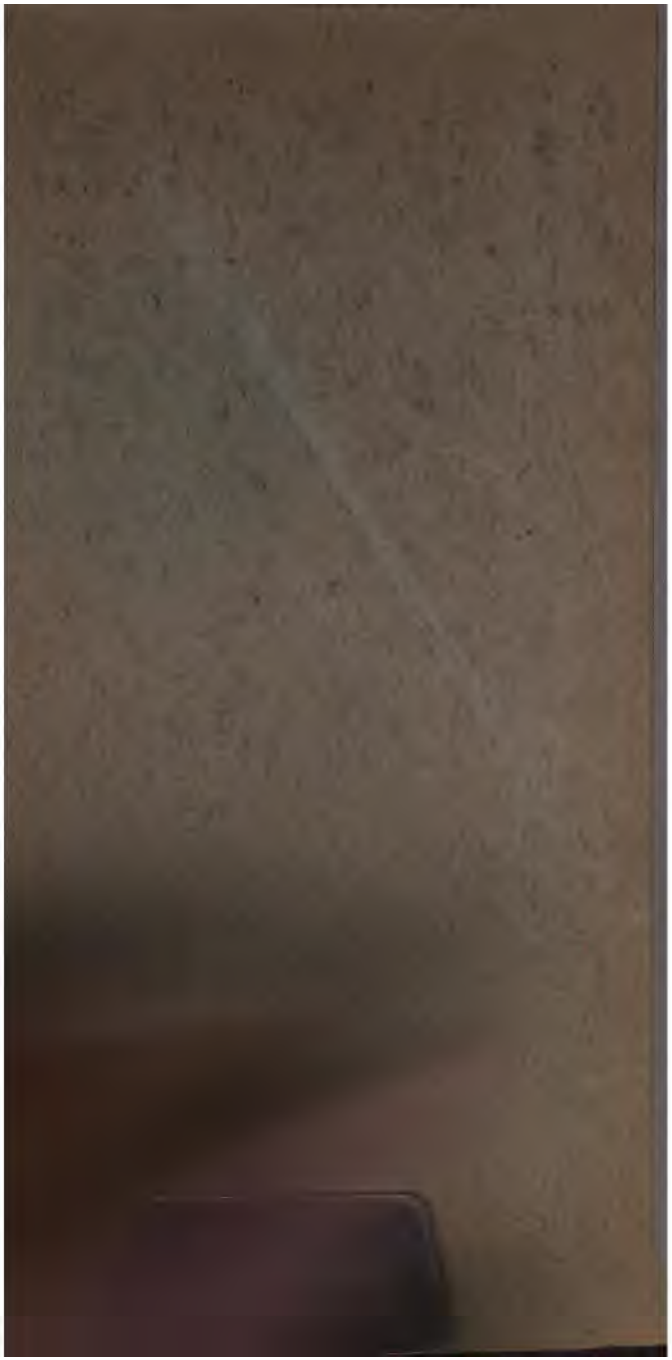
+ *Laat de eigendomsverklaring staan* Het “watermerk” van Google dat u onder aan elk bestand ziet, dient om mensen informatie over het project te geven, en ze te helpen extra materiaal te vinden met Zoeken naar boeken met Google. Verwijder dit watermerk niet.

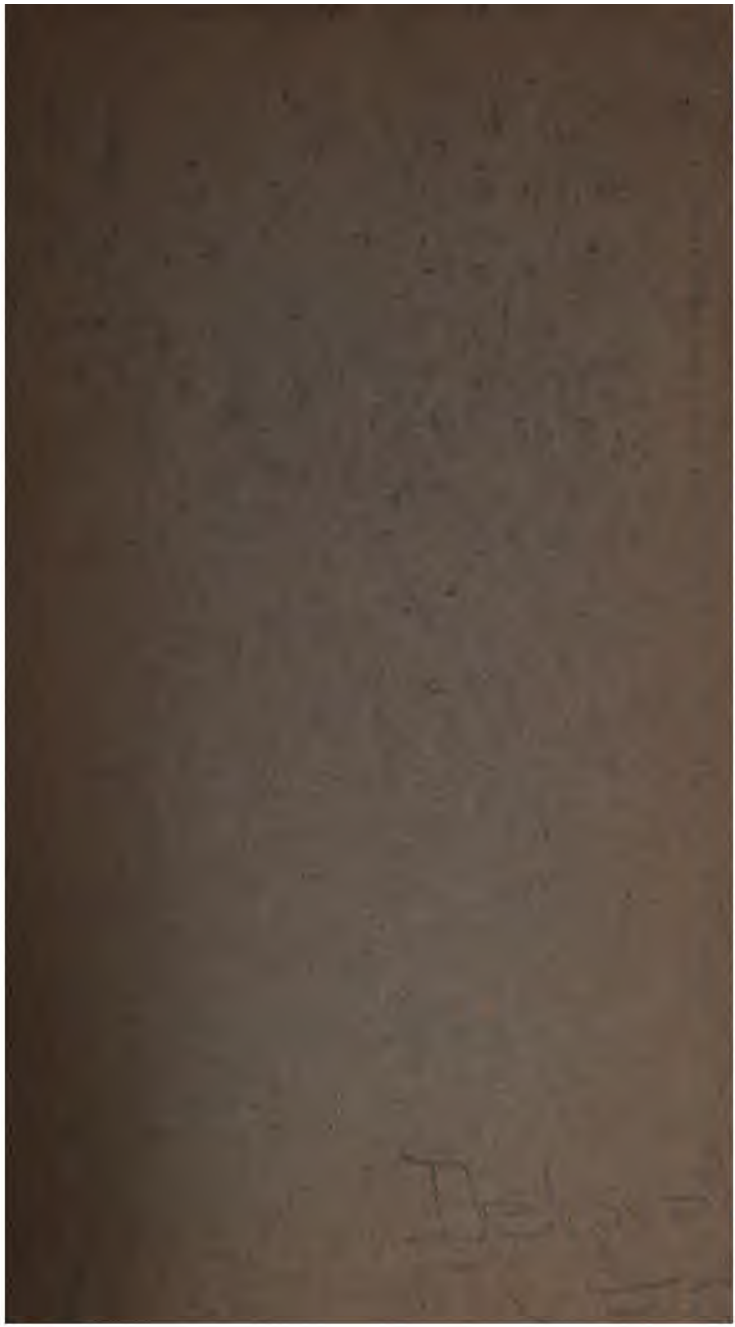
+ *Houd u aan de wet* Wat u ook doet, houd er rekening mee dat u er zelf verantwoordelijk voor bent dat alles wat u doet legaal is. U kunt er niet van uitgaan dat wanneer een werk beschikbaar lijkt te zijn voor het publieke domein in de Verenigde Staten, het ook publiek domein is voor gebruikers in andere landen. Of er nog auteursrecht op een boek rust, verschilt per land. We kunnen u niet vertellen wat u in uw geval met een bepaald boek mag doen. Neem niet zomaar aan dat u een boek overal ter wereld op allerlei manieren kunt gebruiken, wanneer het eenmaal in Zoeken naar boeken met Google staat. De wettelijke aansprakelijkheid voor auteursrechten is behoorlijk streng.

Informatie over Zoeken naar boeken met Google

Het doel van Google is om alle informatie wereldwijd toegankelijk en bruikbaar te maken. Zoeken naar boeken met Google helpt lezers boeken uit allerlei landen te ontdekken, en helpt auteurs en uitgevers om een nieuw leespubliek te bereiken. U kunt de volledige tekst van dit boek doorzoeken op het web via `http://books.google.com`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06637219 8





Anon.

WISKUNDIGE LEERCURSUS

TEN GEBRUIKE DER

KONINKLIJKE AKADEMIE VOOR DE ZEE- EN LANDMAGT.

BEGINSELEN

DER

WERKTUIGKUNDE,

VOOR DE

KADETTEN DER ARTILLERIE EN GENIE.

DOOR

I. P. DELPRAT,

Kolonel-Ingenieur.

TWEEDE VERBETERDE DRUK.

TE BREDA,

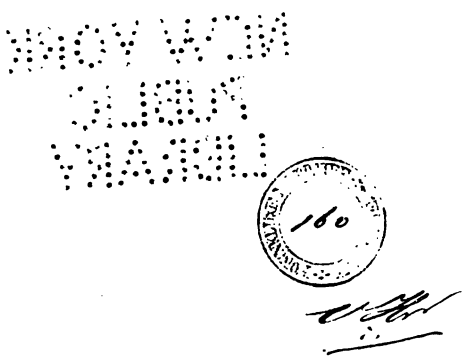
TER DRUKKERIJ VAN BROESE & COMP.,

VOOR REKENING VAN DE

KONINKLIJKE AKADEMIE VOOR DE ZEE- EN LANDMAGT.

1855.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
427117
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1910 L



INHOUD.

LEIDING..... Bladz. 1
ERSTE AFDEELING. Over de krachten tot het bewegen van werktuigen..... » 4.
a.) Arbeid van menschen..... » 8.
1. Werk aan de kruk..... » 10.
2. Het hijschen..... » 19.
3. Het duwen of trekken..... » 20.
4. Het arbeiden door het gewigt van den arbeider..... » 22.
5. Het dragen..... » 22.
Hoeveelheid arbeid van menschen..... » 23.
b.) Arbeid van paarden..... » 26.
c.) Arbeid van den wind..... » 31.
d.) Gebruik van het water..... » 48.
1. Onderslagraderen..... » 52.
2. Middelslagraderen..... » 58.
3. Bovenslagraderen..... » 60
4. Schepraderen door een' niet ingesloten waterstroom gedreven..... » 62.
5. Turbines..... » 64.
Algemeene aanmerkingen omtrent de waterraderen..... » 70.
e) Gebruik van de warmte tot het ontwikkelen van stoom voor stoomwerktuigen..... » 73.
Algemeene eigenschappen van den stoom..... » 73.
Algemeene beschrijving en indeeling der stoommachinen..... » 80.
1. Werktuigen van lage drukking..... » 82.
2. Werktuigen van middelbare drukking... » 121.
3. Werktuigen van hooge drukking..... » 126.
4. Werktuigen alwaar de stoom in dezelfde rigting voortwerkt..... » 155.
5. Stoommeters..... » 161.

TWEEDE AFDEELING. Het veranderen en overbrengen der bewegingen..... Bladz. 165.
a.) Voortgaande regtlijnige beweging, overgebragt tot eene andere dergelijke beweging, met dezelfde of ongelijke snelheid..... » 166.
b.) Voortgaande regtlijnige beweging, overgebragt in eene voortgaande ronddraaijende..... » 168.
c.) Voortgaande ronddraaijende beweging, in dezelfde soort van beweging overgebragt..... » 169.
d.) Voortgaande ronddraaijende beweging, in heen- en weêrgaande regtlijnige overgebragt... » 183.
e.) Draaijende heen- en weêrgaande beweging, in regtlijnige heen- en weêrgaande, en omgekeerd. » 190.
f.) Het plotseling afbreken en verbinden der bewegingen en regeling der snelheden..... » 196.
DERDE AFDEELING. Over de toestellen waardoor het eigenlijke werk verrigt wordt..... » 219.
De schepraderen..... » 220.
Hellend scheprad..... » 230.
Vijzelmolens..... » 233.
Over de pompen..... » 246.
Zaagmolens..... » 262.
Buskruidmolens..... » 269.
Pletwerken en hamers..... » 275.
Werktuig tot het drijven van gaten in platen... » 278.
Algemeene regelen in acht te nemen, bij het ontwerpen, zamenstellen en beoordeelen van werktuigen. » 283.

DRUKFOUTEN.

Bladz. 180 regel 21 van boven *staat:* 41a *lees:* 41.
» 182 » 9 » » » $\sqrt{(1-\cos^2\varphi\sin^2\alpha)}\sqrt{(\text{enz.})}$ » $\sqrt{(1-\cos^2\varphi\sin^2\alpha)} = \sqrt{(\text{enz})}$.

BEGINSELEN

DER

WERKTUIGKUNDE.

INLEIDING.

§ 1. De werktuigen dienen in het algemeen om de krachten, die de natuur oplevert of die door de kunst ontwikkeld worden, te kunnen gebruiken tot het geven van zekere bepaalde gedaanten of vormen aan de ligchamen door die werktuigen bewerkt, of ook tot het verplaatsen van ligchamen.

§ 2. De krachten waarvan men zich bij de werktuigen bedient, werken niet altijd in de rigting, noch met de snelheid die men tot een bepaald oogmerk kan noodig hebben; het doel der werktuigen is het verkrijgen van die verlangde rigtingen en snelheden. Zoo kan men bijv. door den wind zonder eenig toestel geen graan malen, maar wèl door den wind op de wieken van eenen korenmolen te doen werken; men vangt dan de kracht van den wind door de zeilen op en verbindt dezen, door eenig raderwerk, met de molensteenen die het graan verbrijzelen, en alzoo bereikt men het verlangde oogmerk. Evenzoo is het gelegen met andere werktuigen door krachten bewogen.

§ 3. In het algemeen zijn er in een werktuig drie gedeelten te onderscheiden:

Het eerste gedeelte dient om de kracht waarmede het werktuig zal bewogen worden aan te nemen of op te vangen: bij den wind zijn het de zeilen en wieken, bij de watermolens de schepraderen of andere toestellen waardoor men het water doet wer-

ken; bij het gebruiken der krachten van menschen of dieren zijn het de touwen waaraan getrokken, de krukken waaraan gedraaid wordt, alsmede de strengen en gareelen waarin de paarden gespannen worden, enz. Men kan dit gedeelte der werktuigen *ontvanger* der krachten noemen

Een tweede gedeelte der werktuigen dient om de kracht door den ontvanger opgenomen, over te brengen op het gedeelte dat het eigenlijk beoogde werk verrigt: zoo dient in den windkorenmolen het raderwerk tusschen de as der wieken en de as der molensteenen, om deze laatsten met de vereischte snelheid rond te draaijen, welke snelheid doorgaans verschillende is van die der wieken.

Het derde gedeelte, eindelijk, bestaat uit die gedeelten die het eigenlijke werk verrigten: in de korenmolens zijn dit de molensteenen, in de zaagmolens de zagen, enz.

§ 4. Elk van deze drie hoofddeelen eens werktuigs is onafhankelijk van de andere: men kan de zeilen, wieken, enz., van eenen molen veranderen om daardoor meer wind op te vangen, doch daarom kan de wijze van graanbereiding door middel van twee molensteenen dezelfde blijven; men kan zelfs eene geheel andere kracht; bijv. het water of den stoom gebruiken tot het graanmalen, even zoo goed als den wind; alsdan moet wel de ontvanger veranderen, maar de wijze van graanbereiding blijft dezelfde. Omgekeerd kan men dezelfde kracht gebruiken tot het verrigten van zeer verschillend werk: men kan bijv. den wind gebruiken zoowel om hout te zagen als om graan te malen; alsdan blijft het gedeelte waarop de kracht werkt, of de ontvanger, onveranderd; het tweede hoofddeel, of het deel dat de beweging overbrengt, zal hierbij meestal veranderen, doch het derde hoofddeel, of het gedeelte dat het eigenlijke werk verrigt, moet voorzeker veranderen.

§ 5. De krachten waarmede de werktuigen bewogen worden, zijn hoofdzakelijk de volgende:

a) De krachten van menschen,
b) Die van dieren,
c) Van den wind,
d) Van het water,
e) Die door de warmte ontwikkeld.

Wij zullen elk dezer in het bijzonder beschouwen. Men heeft nog wel gepoogd om andere krachten der natuur, zooals die der

electriciteit, tot het bewegen van werktuigen te gebruiken, doch tot nu toe is men hierin niet naar wensch geslaagd.

§ 6. De middelen die men bedacht heeft om eene voortgebragte beweging in rigting of snelheid te wijzigen, zijn zeer menigvuldig; wij zullen slechts daarvan de voornaamste doen kennen, voor zoover dit voor ons tegenwoordig oogmerk dienstig kan zijn.

§ 7. De toestellen, uitgedacht om de verschillende werkzaamheden, zooals: het graanmalen, houtzagen, spinnen, weven, enz. te verrigten, zijn bijna tot in het oneindige vermenigvuldigd; het zou eene onoverzienbare taak zijn die allen te doen kennen; wij bepalen ons daarom alleen bij eenige der voornaamste, die voor de vakken op de Akademie voor Zee- en Landmagt onderwezen, meer bijzonder in aanmerking komen.

EERSTE AFDEELING.

OVER

DE KRACHTEN TOT HET BEWEGEN VAN WERKTUIGEN.

§ 8. Bij het bewegen van werktuigen oefenen de krachten niet alleen eene bepaalde drukking op hare aangrijpingspunten uit, maar zij doen deze ook met eene zekere snelheid voortgaan; zij brengen dus zekeren arbeid voort (Dynamica § 205). Die arbeid wordt gemeten door het product van den weg van het aangrijpingspunt in de rigting der kracht met de drukking of grootte der kracht; het zijn dus deze twee grootheden die men bij het beoordeelen van den arbeid eener kracht dient te kennen.

§ 9. Het meten van den weg van het aangrijpingspunt heeft in de meeste gevallen geene zwarigheid, maar wel het meten der voortgebragte drukking: het is bijv. zeer moeijelijk de drukking van den wind op eenig punt der zeilen van eenen molen te meten, of van het water op de schoepen der waterraderen.

In sommige gevallen kan men de voortgebragte drukking meten door middel van den *Dynamometer*, bestaande hoofdzakelijk uit een of meer op elkander gelegde stalen veren, gevormd zooals in Fig. 1 is aangewezen. Bij B en D zijn ringen of haken aangebragt waarop men de krachten doet werken. Heeft men bijv. eene kracht die in de rigting BD op eenig punt van een werkzaam drukt of trekt, dan kan men den Dynamometer in B vasthaken en de kracht in D doen werken; hierdoor worden de punten D en B van elkander verwijderd of naderbij gebragt; de verandering van den afstand DB kan dus dienen om de grootte der in punt B gevende spanning te meten. Men heeft slechts vooraf het [illegible] aan een vast punt te bevestigen en in D bekende gewigten

op te hangen, om na te gaan welke betrekking er bestaat tusschen de veranderingen van den afstand *DB* of *AE* en de gewigten of spanningen in *D*. Bij dezen toestel moeten de krachten niet zoo groot zijn om blijvende veranderingen in de veer voort te brengen, dewijl alsdan de vroeger waargenomen betrekking tusschen de veranderingen van den afstand *BD* en de gewigten, niet meer dezelfde blijft.

Om de veranderingen der afstanden *DB*, of liever de gedaanteveranderingen der veer naauwkeurig te kunnen waarnemen, doet men een staafje *Ae*, in *A* bevestigd, werken op eenen gebogen hefboom *eF* om eene spil op de veer bevestigd. De eene arm zeer klein zijnde in vergelijking van den tweeden, zoo worden geringe veranderingen in den afstand *AE* door het punt *F* langs eene verdeelde wijzerplaat zeer duidelijk aangewezen; de wijzer *GH* draait met eenige wrijving om de spil *G*, ten einde eene blijvende aanwijzing te geven wanneer, na de werking der krachten, de Dynamometer zijne oorspronkelijke gedaante heeft hernomen, hetgeen voor den waarnemer gemakkelijk is.

Men kan onder anderen den Dynamometer gebruiken om de spanning te meten door paarden op de strengen van hun tuig uitgeoefend; men maakt het punt *D* aan den wagen en het punt *B* aan den trekknuppel vast; de wijzer *GH* zal dan de uitgeoefende spanning aanwijzen.

§ 10. Wanneer men de spanning of drukking niet onmiddellijk kan waarnemen, dan is evenwel de arbeid bij eene ronddraaijende beweging nog te meten met eenen toestel door Prony bedacht, en bekend onder den naam van *Vang van Prony*. Gesteld eene as *C* (Fig. 2) wordt door eene kracht met zekere snelheid rondgedraaid, terwijl die as, tevens aan eenig werktuig verbonden, zekeren arbeid verrigt, en dat men verlangt dien arbeid gedurende eenen bepaalden tijd voorgebragt, te meten. Daartoe wordt dan de verbinding van de as met de verdere deelen des werktuigs weggenomen, zoodat de as enkel onder de werking der bewegende kracht ronddraait, zonder eenig verder deel des werktuigs in beweging te brengen; daarentegen wordt aan die as eenen vang verbonden, bestaande uit eenen ijzeren band *DEF*, met schroeven aan eenen boom *AB* verbonden; door het aanhalen der schroeven kan men den band *DEF* naar goedvinden meer of minder sterk om de as *C* klemmen. De bewegende kracht zal nu den boom

AB met de as ronddraaijen; doch brengt men ergens een gewigt P op die as aan, groot genoeg om den boom *AB* tegen te houden, dan zal de boom niet mede draaijen, maar de as zal in den band *DEF* wrijven. Door den band sterker aan te klemmen zal het gewigt P grooter moeten wezen en daardoor ook grooteren tegenstand op de as uitoefenen, hetgeen tevens de snelheid van de as zal wijzigen; men zal dus, door het meer of minder sterk aanklemmen van den band *DEF* en door het veranderen van het gewigt P, de beweging zoodanig kunnen regelen, dat de as *C* met dezelfde snelheid beweegt waarmede zij bij den gewonen gang van het werktuig rondgaat. Heeft dit plaats, dan is de wederstand der wrijving door den band *DEF* voortgebragt, dezelfde als die door het werktuig op de as *C* gewoonlijk uitgeoefend; maar die tegenstand wordt ook in evenwigt gehouden door het gewigt P, werkende in *G*, zoodat, indien *a* de afstand is van het middelpunt der as *C* tot de loodlijn uit *G* en *r* de straal der as, men hebben zal voor de betrekking tusschen den tegenstand T der wrijving aan den omtrek der as en het gewigt P

$$rT = aP;$$

is nu *v* de snelheid van den omtrek der as, dan is de verrigte arbeid gedurende eene seconde

$$vT = \frac{a}{r} Pv. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

de grootheden *a*, *r*, *v* en P zijn zeer gemakkelijk waar te nemen.

Wij hebben hier het gewigt van den vang buiten rekening gelaten, dewijl de toestel gemakkelijk zoodanig in te rigten is om zonder gewigt P aan de as *C* in evenwigt te zijn; terwijl overigens het gewigt van den boom ook gemakkelijk is in rekening te brengen.

Bij het gebruik van den vang moet men bij sterke wrijvingen van den band om de as, de te groote verhitting voorkomen, door den band onophoudelijk met water te begieten. Ook is men gewoon den band *DEF* in den beginne sterk aan te klemmen, en het einde *A* van den vang aan een sterk touw of ketting vast te maken, om te beletten dat niet bij een te klein gewigt P de vang geheel worde omgeslagen, of wel dat de as eene te groote snelheid verkrijge. Is de as dun, dan bevestigt men daaraan eene ronde schijf van de vereischte middellijn waarop de vang werkt.

§ 11. De zoo even beschrevene vang zal met behulp van de formule (1) § 10 den arbeid doen kennen, door eene bewegende kracht in eenen bepaalden tijd voortgebragt. Eigenlijk is onder dien arbeid ook nog begrepen het overwinnen der wrijving in de pannen der as, doch die wrijving is in vergelijking van den geleverden arbeid meestal zoo gering, dat men haar buiten rekening kan laten.

§ 12. Indien men den vang niet verbindt aan de eerste as, dat is aan die waarop onmiddellijk de bewegende kracht werkt, maar op eene andere as, die door tusschengelegen deelen van het werktuig bewogen wordt, dan meet men door den vang niet meer den geheelen arbeid der kracht, maar slechts dien arbeid, verminderd met den arbeid vereischt om de wrijvingen en verdere tegenstanden der tusschengelegen deelen te overwinnen. Hierdoor heeft men gelegenheid den arbeid door die wrijvingen en tegenstanden verbruikt, te beoordeelen: want, metende eerst den arbeid der kracht op de eerste as en daarna dien op eene tusschengelegene, dan zal het verschil der waargenomen hoeveelheden arbeid, het verlies door de wrijvingen en tegenstanden op de tusschengelegen deelen veroorzaakt, aanwijzen.

Indien men bijv. aan de bovenas van eenen windkorenmolen den zoo even beschreven vang doet werken, en alzoo den arbeid waarneemt door den wind op die as in zekeren tijd geleverd, en men vervolgens den vang doet werken op de as van den bovensteen of looper, waardoor onmiddellijk het graan gemalen wordt, dan zal het verschil van den waargenomen arbeid op de beide assen het verlies doen kennen door de wrijving der raderen, tappen, enz., veroorzaakt.

§ 13. In het algemeen zal dan de vang, gesteld op de eerste as, of op die waarop de bewegende kracht werkt, den arbeid dier kracht doen kennen; terwijl de vang gesteld op de laatste as, of op die alwaar het eigenlijke werk, ook wel soms de *nuttige arbeid* genoemd, wordt verrigt, de hoeveelheid nuttigen arbeid zal doen kennen. Naar de meer of mindere volkomenheid van het werktuig, zal het verschil tusschen den geleverden en den nuttigen arbeid geringer wezen, hoewel dit verschil nooit geheel kan verdwijnen.

Bij het opgeven van den arbeid door eene bewegende kracht voortgebragt, moet men wel onderscheiden, op welk punt des

werktuigs de arbeid is waargenomen; namelijk, of dit heeft plaats gehad op het aangrijpingspunt der kracht, of wel op het punt alwaar de nuttige uitwerking van het werktuig plaats had.

§ 14. Het middel aangewezen hebbende tot het meten van den arbeid der krachten, zoo gaan wij nu over tot de beschouwing der middelen, die men bedacht heeft om de verschillende beweegkrachten tot het bewegen van werktuigen aan te wenden.

a) ARBEID VAN MENSCHEN.

§ 15. Ten einde den arbeid te meten dien de mensch in verschillende omstandigheden kan voortbrengen, dient men de drukking te kennen die hij op de aangrijpingspunten uitoefent, en den weg dien hij die punten gedurende den arbeid doet doorloopen, hetwelk blijkbaar alleen door waarnemingen kan geschieden.

De mensch kan niet zeer lang onafgebroken werken; er moeten van tijd tot tijd oogenblikken van rust gegeven worden; om alzoo den werkelijken arbeidstijd gedurende eenen dag te kennen, moet men van den verloopenen tijd de uren van rust aftrekken. In de meeste gevallen kan de arbeidstijd niet veel meer dan 6, 8 à 10 uren daags bedragen, vooral indien de arbeider zijne geheele kracht moet besteden.

§ 16. Bij het doen van waarnemingen omtrent den arbeid van menschen, moet men wel acht geven, of de waargenomen arbeid op den duur kan worden volgehouden, dan wel of die arbeid het gevolg is van eene oogenblikkelijke inspanning die op den duur niet kan bestaan, of die althans den arbeider buiten staat zou stellen op den volgenden dag het werk te hervatten.

§ 17. Naarmate de snelheid van het aangrijpingspunt toeneemt, wordt de drukking die de arbeider daarop kan uitoefenen minder; zelfs bestaat er blijkbaar eene snelheid waarbij hij in het geheel geene drukking kan voortbrengen. Bij elke snelheid behoort dan eene drukking die daarbij op den duur is vol te houden, en daar de verrigte arbeid, in eenen bepaalden tijd, evenredig is aan het product van de drukking met de overeenkomstige snelheid van het aangrijpingspunt, zoo bestaat er eene bepaalde snelheid waarbij de meeste arbeid wordt verrigt, die te bepalen zou zijn, indien men de betrekking kende tusschen elke snelheid en de daarbij behoorende drukking.

Hoewel die betrekking bij den arbeid van menschen niet wel naauwkeurig te bepalen is, zoo weet men echter, dat als V de snelheid is, waarbij de uitgeoefende drukking nul wordt, en daarentegen P de drukking waarbij in het geheel geene snelheid of beweging kan worden voortgebragt, alsdan de betrekking tusschen eenige drukking D en de daarmede overeenkomende snelheid v, aangewezen moet worden door eene functie, alwaar voor $v = V$, $D = 0$ en voor $D = P$, $v = 0$ moet zijn. Coulomb heeft daarom aangenomen de betrekking

$$D = P\left(1 - \frac{v}{V}\right)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

die aan de gestelde voorwaarden voldoet en tevens, voor zoover de waarnemingen strekken, ook redelijk wel overeenkomt voor waarden van v tusschen 0 en V gelegen.

Naar aanleiding dezer formule zou het product Dv een maximum worden voor $v = \frac{1}{3}V$ en alsdan

$$Dv = \frac{4}{27} PV \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

zijn. Zoodra men dus de drukking P bekend heeft, die een arbeider op den duur kan uitoefenen zonder snelheid voort te brengen, alsmede de snelheid V, die hij zonder eenige drukking uit te oefenen kan bereiken, dan is de grootste arbeid dien hij verrigten kan, uit (*b*) bekend.

§ 18. Uit het voorgaande kan men verder afleiden, hoe door de snelheid te vermeerderen of te verminderen, de verrigte arbeid verandert als de vermoeijenis dezelfde blijft. Hierin hebben geoefende arbeiders zeer veel boven ongeoefende vooruit; de ondervinding leert hen op het voordeeligst hunne krachten te gebruiken, dat is: zij leeren de juiste snelheid voortbrengen, waarbij zij met de minste vermoeijenis den meesten arbeid leveren.

§ 19. De formule (*a*) van § 17 geeft tevens het middel aan de hand om de snelheid v te bepalen, waarmede eenig werktuig door menschen bewerkt, zal bewegen, zoodra de wederstand bekend is die in het aangrijpingspunt juist evenwigt maakt met den last en de verdere tegenstanden; de beweging namelijk tot eenparigheid gekomen zijnde, zoo is de bewegende kracht D juist

gelijk aan dien tegenstand (Dynamica, § 144); zij dan deze tegenstand W, dan hebben wij (*a*) § 17

$$W = P\left(1 - \frac{v}{V}\right)^2;$$

waaruit v of de snelheid van het aangrijpingspunt kan gevonden worden.

§ 20. Behalve de meer of mindere geoefendheid der arbeiders, komt ook nog de verschillende mate van ligchaamskrachten in aanmerking; en dewijl men hierin, even als in bedrevenheid, zelden twee volmaakt gelijke personen aantreft, zoo kunnen alle opgaven van arbeid van menschen slechts benaderingen of middelgetallen zijn, voor geen zeer juiste bepaling vatbaar.

§ 21. De kracht van den mensch wordt meestal op eene der volgende wijzen gebruikt:

1. Door het draaijen van eene kruk.
2. Het trekken aan verticaal hangende touwen, zoo als bij het hijschen, heijen, enz.
3. Het trekken of duwen, waarbij de arbeider tevens voortgaat, zooals het trekken of duwen van schuiten, wagens, enz.
4. Door zijn gewigt bij het werken aan een sportrad, hetzij aan den buitenomtrek, hetzij door in de binnenzijde te loopen.
5. Door het dragen van lasten op zijnen rug of zijne schouders.

1. *Werk aan de kruk.*

§ 22. De meestgebruikelijke toestel om menschelijke krachten, op dezelfde plaats duwende of trekkende, te gebruiken, bestaat in eenen zwengel of eene kruk (Fig. 3), die men door afwisselend trekken en duwen doet ronddraaijen. De cirkel door de hand bij dit ronddraaijen beschreven, moet niet veel meer dan de lengte van den arm of omtrent 70 à 80 duim tot middellijn hebben, dewijl anders de arbeider bij het ronddraaijen niet op dezelfde plaats kan blijven en zich te veel vermoeit.

De arbeider oefent bij het ronddraaijen niet gestadig dezelfde werking uit. Indien bijv. de kruk aan eene horizontale as is verbonden en alzoo bij de beweging eenen cirkel *ADBE* beschrijft, en tevens de kracht altijd door het punt *O* gerigt blijft, dan

zal, zoo de arbeider de kruk uit den stand AC naar D beweegt, de drukking volgens OA loodregt op den arm AC kunnen werken en alzoo die drukking het grootste moment hebben; maar bij het verder rondgaan blijft de drukking niet loodregt op den arm AC, en alzoo vermindert haar moment. Indien er dan in den stand AC, door het overwigt van de drukking op den last, eenige versnelling wordt voortgebragt, zoo zal die versnelling verminderen, naarmate de rigting der uitgeoefende kracht eenen kleineren hoek met den arm AC vormt. De versnelling zal zelfs in vertraging overgaan, zoodra de arm AC den stand CK voorbijkomt, alwaar het moment der uitgeoefende drukking juist gelijk aan dat van den last wordt; hetgeen voorzeker ergens zal plaats hebben, omdat bij het doorloopen van $AKDA$ de drukking eens juist door C zal gerigt wezen, waarbij het moment der kracht $= 0$ wordt. Het werktuig zal stilstaan indien de vertraging in staat is de voortgebragte snelheid uit te putten; is daarentegen de snelheid groot genoeg om, wanneer de drukking op nieuw ergens in B weder met den last in evenwigt is gekomen, niet geheel uitgeput te zijn, dan kan de drukking bij de verdere beweging weder eenig overwigt verkrijgen, en alzoo de beweging voortdurend onderhouden.

§ 23. Hoewel bij eenen last die altijd hetzelfde moment behoudt, zooals bij het opwinden van een gewigt om eenen cilinder, de beweging met de zoo even aangenomen rigting der kracht niet eenparig kan zijn, zoo veroorzaakt dit echter geen verlies van arbeid, dewijl bij het doorloopen van elke geheele omwenteling $AKDBA$, waar ook begonnen, de snelheid wederom dezelfde is geworden als bij den aanvang, en derhalve (Dynamica § 216) de arbeid der kracht gelijk is aan den arbeid van den last. Indien er alzoo geen zwarigheid voor het werk ontstaat uit het beurtelings versnellen en vertragen, zoo levert die ongelijkheid der beweging hoegenaamd geen nadeel op. Al wat men heeft aangevoerd over het nadeel van ongelijke momenten der kracht bij de kruk, is ten eenemale ongegrond, voor zoover men daaruit eenig verlies van arbeid wil afleiden. Indien men in plaats der kruk eenig ander middel bedacht, waarbij de uitgeoefende drukking altijd hetzelfde moment behield, dan zou wel de beweging met meer eenparigheid kunnen geschieden, maar daardoor zou men geen meerderen arbeid verkrijgen, omdat de weg der kracht

dan even zooveel zou toenemen als de aanwinst van moment zou bedragen.

Evenwel is hier onder den last ook gerekend de wrijving in de tappannen; het zou kunnen zijn, dat bij eene kracht die altijd loodregt op den arm der kruk bleef, die wrijving minder was dan bij de hier aangenomen rigting der drukking, en hierin zou eenig voordeel kunnen zijn. Wegens het veelvuldig gebruik der kruk, ook bij het overbrengen van bewegingen, vooral bij stoomwerktuigen, zullen wij dit verlies nagaan, ten einde des te beter over het meer of minder voordeelige van de kruk te kunnen oordeelen.

§ 24. In plaats echter van daarbij de kracht altijd door het eens aangenomen punt O te rigten, zullen wij, om in geene te zamengestelde berekeningen te vervallen, aannemen dat de drukking evenwijdig blijft aan eene gegeven rigting ED (Fig. 4). Ofschoon dit dan wel niet geheel overeenkomt met hetgeen bij de werking van eenen arbeider aan eene kruk plaats heeft, is evenwel de afwijking niet zeer groot, en komt nabij overeen met den waren stand, wanneer de kruk gebruikt wordt tot het overbrengen van beweging in stoom- en andere werktuigen.

Stellende $AC = a$, $CL = r$, $\rho = Cc =$ aan den straal van den wrijvingscirkel van de as C in hare pannen, en hoek $ECA = \varphi$, dan zal de kracht K′, die evenwijdig met DE in A evenwigt maakt met den last L, gevonden worden uit de vergelijking

$$(a \sin \varphi - \rho)\, K' = (r + \rho)\, L\,;$$

de kracht die in A de versnelling voortbrengt is dus

$$K - K' = K - \frac{r + \rho}{a \sin \varphi - \rho}\, L.$$

Deze kracht overbrengende in c, ontstaat er een koppel $(a \sin \varphi - \rho)$ $(K - K')$, waarvan de arm gelijk genomen aan cL eene versnellende kracht in L geeft, voorgesteld door

$$\frac{a \sin \varphi - \rho}{r + \rho}\,(K - K')\,;$$

de versnelling van L is dus

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g\,\frac{(a \sin \varphi - \rho)\, K - (r + \rho)\, L}{(r + \rho)\, L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a).$$

De massa der kruk laten wij gemakshalve buiten rekening, het herleide moment van traagheid dezer massa zou anders bij den noemer van het tweede lid der vergelijking (*a*) moeten gevoegd worden. - In den tijd ∂t doorloopt het punt L en de massa L eene ruimte $r\partial\varphi = v\partial t$, alzoo geeft dan de voorgaande vergelijking

$$v\partial v = gr\,\frac{(a\sin\varphi - \rho)\,\mathrm{K} - (r+\rho)\,\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}}\,\partial\varphi,$$

waaruit volgt:

$$\tfrac{1}{2}(v^2 - c^2) = gr\,\frac{(a(1-\cos\varphi) - \rho\varphi)\,\mathrm{K} - (r+\rho)\,\varphi\,\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}},$$

waarin c de snelheid van L voorstelt voor den stand CE van den arm AC, alwaar $\varphi = 0$ is; van welk oogenblik de tijd t geteld wordt.

De snelheid v' van L, wanneer de kracht K in D is gekomen, wordt gevonden door in de voorgaande vergelijking $\varphi = \pi$ te nemen, alsdan is

$$\tfrac{1}{2}(v'^2 - c^2) = gr\,\frac{(2a - \rho\pi)\,\mathrm{K} - (r+\rho)\,\pi\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}} \quad . \quad . \quad . \quad (b).$$

In den stand CD van den arm, moet de kracht in tegengestelde rigting werken om de beweging te onderhouden. Voor eenen willekeurigen stand CI van den arm aan den halven omtrek DGE, heeft men voor de kracht $\mathrm{K} - \mathrm{K}'$, die de versnelling op L voortbrengt, hoek $ICD = \varphi'$ zijnde:

$$\mathrm{K} - \mathrm{K}' = \mathrm{K} - \frac{r+\rho}{a\sin\varphi' + \rho}\,\mathrm{L},$$

en dus voor de versnelling

$$v\partial v = gr\,\frac{(a\sin\varphi' + \rho)\,\mathrm{K} - (r+\rho)\,\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}}\,\partial\varphi;$$

de snelheid van den last L is in D voor $\varphi' = 0$ gelijk aan v', derhalve heeft men

$$\tfrac{1}{2}(v^2 - v'^2) = gr\,\frac{(a(1-\cos\varphi') + \rho\varphi')\,\mathrm{K} - (r+\rho)\,\varphi'\,\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}};$$

waaruit voor de snelheid v'' in E gevonden wordt:

$$\tfrac{1}{2}(v''^2 - v'^2) = gr\,\frac{(2a + \rho\pi)\,\mathrm{K} - \pi\,(r+\rho)\,\mathrm{L}}{(r+\rho)\,\mathrm{L}} \quad . \quad . \quad . \quad (c).$$

Zal nu de beweging door de kracht K voortgebragt, onveranderd voortgaan, dan moet de snelheid v'', als A in E is gekomen, gelijk zijn aan de snelheid c van den last L bij het begin van den tijd t. Wij hebben dan uit (c)

$$\tfrac{1}{g}(c^2-v'^2) = gr\,\frac{(2a+\rho\pi)\,K-\pi(r+\rho)\,L}{(r+\rho)\,L} \quad . \quad . \quad . \quad (d)$$

en deze vergelijking opgeteld met (b) geeft

$$0 = 4aK-2(r+\rho)\,\pi L$$

en dus

$$K = \frac{(r+\rho)\,\pi}{2a}L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (e);$$

welke vergelijking de kracht K aanwijst, waarmede de beweging voortdurend kan onderhouden worden. De arbeid van de kracht K bij eene geheele omwenteling is $4aK$ en die van den last L, $2\pi rL$; er is alzoo door de wrijving verloren gegaan een arbeid voorgesteld door $4aK-2\pi rL = 2\rho\pi L$, of wel het $\frac{\rho}{r}$ gedeelte van den voortgebragten arbeid. Dewijl nu meestal ρ in vergelijking van r zeer klein is, kan dit verlies nooit zeer aanmerkelijk wezen in vergelijking van den arbeid op den last besteed.

§ 25. De uitkomst der vorige § kon men onmiddellijk verkregen hebben uit het grondbeginsel der levendige krachten: want dewijl bij eene geheele omwenteling der kruk, de snelheid van elk deel wederom dezelfde is geworden, zoo moet (volgens § 216 der Dynamica), de arbeid der kracht, na eene geheele omwenteling, gelijk zijn aan dien van den last met den tegenstand der wrijving daaronder gerekend. Nu is gedurende de beweging van E naar D de drukking op de as L+K en bij de andere helft der omwenteling L—K, omdat alsdan de kracht K in tegengestelde rigting werkt; de middelbare drukking is dus L, en daar de drukking denzelfden wrijvingshoek met de normaal van het aanrakingspunt in de tappannen blijft vormen, zoo is de tegenstand der wrijving in tegengestelde rigting der beweging $L\sin\mu$; zoodat wanneer r' de straal van den tap en dus $\rho = r'\sin\mu$ is, de arbeid der wrijving bij eene geheele omwenteling is $2\pi r'$

$\sin \mu L = 2\pi\rho L$. Wij hebben dus voor de vergelijking tusschen den arbeid der kracht en dien van den last.

$$4aK = 2\pi rL + 2\pi\rho L;$$

waaruit dezelfde waarde als hierboven voor K wordt gevonden.

§ 26. Indien, zooals in de Figuur, de straal r waaraan de last werkt, kleiner is dan de straal a van de kruk, dan zal gedurende de beweging van de kruk tusschen de punten D en p, bepaald door de loodlijnen uit C en L, de betrekking van het evenwigt tusschen den last en de kracht door de vergelijking

$$(a \sin \varphi' - \rho) K' = (r - \rho) L$$

worden aangewezen; omdat de kracht K', voor dit gedeelte van beneden naar boven werkende, blijkbaar grooter dan L zijnde, eene resultante met L levert, mede gerigt van beneden naar boven, gaande door het punt c' aan de andere zijde van C gelegen. De kracht K' is dan voor dit gedeelte der beweging iets kleiner dan de kracht K' die daarvoor in rekening gebragt is; wij hebben alzoo den arbeid der kracht K iets te gering geschat en haar dus ten nadeele van de hier onderzochte werking beoordeeld.

§ 27. Indien c bij E te klein is, dan zal het werktuig stilstaan, vóór dat de krukarm gekomen is in den stand CF, waarin de kracht K met den last L evenwigt maakt. De hoek $ECF = \alpha$, alwaar dit evenwigt plaats heeft en alzoo $\delta v = 0$ is, vindt men uit (a) § 24 door de vergelijking

$$(a \sin \alpha - \rho) K = (r + \rho) L$$

en alzoo uit (e) § 24.

$$\sin \alpha = \frac{2}{\pi} + \frac{\rho}{a};$$

waarvoor men bij benadering kan stellen

$$\sin \alpha = \frac{2}{\pi} = \sin 39^\circ 32' 24''.$$

Is dus in F de snelheid v en in F' alwaar $ECF' = \alpha' = 180 - \alpha$ is, v', dan hebben wij uit (a) § 24

$$\tfrac{1}{2}(v'^2 - v^2) = gr \left\{ \frac{a(\cos\alpha - \cos\alpha') - \rho(\alpha' - \alpha)}{(r+\rho)L} K - (\alpha' - \alpha) \right\}$$

of wel bij benadering door (e) § 24

$$\tfrac{1}{2}(v'^2 - v^2) = 2gr(\alpha - \pi \sin^2 \tfrac{1}{2}\alpha);$$

alzoo $$v'^2 - v^2 = 1{,}322\, gr.$$

Is nu in F, $v = 0$, dan moet nog altijd in F'

$$v'^2 = 1{,}322\, gr$$

zijn; dit geeft voor $r = 1$ el, $v' = 3{,}60$ el. De kleinste hoeksnelheid waarmede het werktuig kan blijven bewegen, is dus in het punt F' iets meer dan 3,60 el; daarbij zal dan in F de snelheid bijna $= 0$ zijn; de gemiddelde snelheid is dus ongeveer 1,80 el.

§ 28. Beschouwen wij nu de werking eener kracht K die altijd loodregt blijft op den arm der kruk.

In elken willekeurigen stand CA van den arm, wordt de kracht K′ die met den last L evenwigt maakt, gevonden uit de voorwaarde dat die kracht met L eene resultante geeft, gaande volgens eene lijn Hc'', zoodanig dat $Cc''H$ den wrijvingscirkel aanraakt. Het overige gedeelte K—K′ der kracht K kan men in H ontbinden volgens HO en Hc'', waarbij de kracht volgens HO de versnelling van den last voortbrengt. Stellende den hoek $ACM = \varphi$, $CA = a$, $CL = r$ en den straal van den wrijvingscirkel $= \rho$, alsmede hoek $CHc'' = \theta$ en $LHC = \psi$, dan hebben wij (volgens § 256 der Statica), het volgende stelsel van formulen:

$$\text{tang}\, \psi = \frac{r \sin \varphi}{a + r \cos \varphi}, \quad \sin \theta = \frac{\rho}{r} \sin \psi,$$

en $$K' = \frac{\sin(\psi + \theta)}{\sin(\varphi - \psi - \theta)} L.$$

Hieruit volgt voor de versnellende kracht langs HO

$$\frac{\sin(\varphi - \psi - \theta)}{\sin(\psi + \theta)} (K - K') = \frac{\sin(\varphi - \psi - \theta)}{\sin(\psi + \theta)} K - L \quad . \quad (a).$$

De versnelling voor eene geheele omwenteling zal men vinden uit

$$\tfrac{1}{2}(v^2 - c^2) = \int_0^{2\pi} gr. \left(\frac{\sin(\varphi - \psi - \theta) K}{\sin(\psi + \theta) L} - 1 \right) \partial \varphi;$$

welke integraal tusschen de aangewezen grenzen genomen, gelijk nul moet zijn, dewijl de beweging na eene geheele omwenteling wederom volmaakt dezelfde moet wezen.

De aangewezen integratie is echter zeer omslagtig; maar dewijl het uit den aard der zaak duidelijk is, dat de kracht K′ bij het doorloopen van den omtrek ADB slechts weinig verandert, zoo zullen wij hare waarde berekenen in de punten E, M, D en G, die ieder een vierde omtrek van elkander verwijderd zijn, en onderstellen dat de kracht K′, gedurende het doorloopen van elken vierde omtrek, dezelfde blijft; doch vooraf zullen wij de formule (a) nog eenige bekorting doen ondergaan.

De hoek θ is altijd zeer klein; wij zullen dus zonder grooten misslag mogen stellen $\sin\theta = \theta$,

alzoo $$\theta = \frac{\rho}{r}\sin\psi$$

en $\cos\theta = 1$; verder kan men voor (a) schrijven,

$$\frac{\sin\varphi\cos(\psi+\theta) - \cos\varphi\sin(\psi+\theta)}{\sin(\psi+\theta)}\,\mathrm{K}-\mathrm{L},$$

$$= \frac{\sin\varphi - \cos\varphi\,\mathrm{tang}\,(\psi+\theta)}{\mathrm{tang}\,(\psi+\theta)}\,\mathrm{K}-\mathrm{L}.$$

Omdat nu θ zeer klein is, zal men voor tang $(\psi+\theta)$ mogen schrijven

$$\mathrm{tang}\,(\psi+\theta) = \mathrm{tang}\,\psi + \frac{\theta}{\cos^2\psi};$$

wij verkrijgen dan:

$$\frac{\sin\varphi\cos^2\psi - \cos\varphi\cos^2\psi\,\mathrm{tang}\,\psi - \theta\cos\varphi}{\cos^2\psi\,\mathrm{tang}\,\psi + \theta}\,\mathrm{K}-\mathrm{L}.$$

Hierin voor θ zijne waarde gesteld, komt er

$$\frac{r\sin\varphi\cos^2\psi - r\cos\varphi\cos^2\psi\,\mathrm{tang}\,\psi - \rho\sin\psi\cos\varphi}{r\cos^2\psi\,\mathrm{tang}\,\varphi + \rho\sin\psi}\,\mathrm{K}-\mathrm{L}$$

$$= \frac{r\sin\varphi\cos\psi - r\cos\varphi\sin\psi - \rho\cos\varphi\,\mathrm{tang}\,\psi}{r\cos\psi\,\mathrm{tang}\,\psi + \rho\,\mathrm{tang}\,\psi}\,\mathrm{K}-\mathrm{L}.$$

De waarde van tang ψ hierin gesteld, komt er

$$\frac{r(a+r\cos\varphi)\cos\psi - r^2\cos\varphi\cos\psi - \rho r\cos\varphi}{(r\cos\psi+\rho)r}\,\mathrm{K}-\mathrm{L}$$

$$= \frac{a\cos\psi - \rho\cos\varphi}{r\cos\psi+\rho}\,\mathrm{K}-\mathrm{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b).$$

Stelt men nu in (*b*) $\varphi = 0$, dan is ook $\psi = 0$, en men vindt voor de versnellende kracht in M

$$k_1 = \frac{a-\rho}{r+\rho} K - L;$$

hetgeen men ook uit de formulen van § 24, alwaar de kracht evenwijdig is aan den last, onmiddellijk had kunnen vinden; een bewijs dat de benaderde formule (*b*) weinig van de waarheid afwijkt.

Voor $\varphi = 90°$, alwaar $\operatorname{tang} \psi = \frac{r}{a}$ wordt, geeft (*b*)

$$k_2 = \frac{a^2 K}{ar + \rho \sqrt{(r^2+a^2)}} - L.$$

Voor $\varphi = 180°$ is $\operatorname{tang} \psi = 0$ en alzoo

$$k_3 = \frac{a+\rho}{r+\rho} K - L.$$

Voor $\varphi = 270°$ is $\operatorname{tang} \psi = -\frac{r}{a}$ en alzoo de cosinus van ψ negatief, derhalve

$$k_4 = \frac{a^2 K}{ra - \rho \sqrt{(r^2+a^2)}} - L.$$

Werkt elk der krachten k_1, k_2, k_3, k_4, gedurende het doorloopen van een vierde omtrek op de massa L, dan brengen zij aan het einde van elk vierde gedeelte, snelheden v_1, v_2, v_3, v_4, voort, aangewezen door de formulen:

$$v_1^2 - v^2 = 2g \frac{\frac{1}{2}\pi r k_1}{L}, \quad v_2^2 - v_1^2 = 2g \frac{\frac{1}{2}\pi r k_2}{L},$$

$$v_3^2 - v_2^2 = 2g \frac{\frac{1}{2}\pi r k_3}{L}, \quad v^2 - v_3^2 = 2g \frac{\frac{1}{2}\pi r k_4}{L}.$$

De som dezer vergelijkingen geeft:

$$k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 0,$$

of
$$\frac{2aK}{r+\rho} + \frac{2a^2 r K}{r^2 a^2 - \rho^2 (r^2+a^2)} - 4L = 0;$$

waaruit men heeft:

$$K = \frac{2(r+\rho)\{r^2 a^2 - \rho^2 (r^2+a^2)\}}{a\{(2r+\rho)a^2 r - \rho^2 (r^2+a^2)\}} L.$$

De arbeid van K bij eene omwenteling, is $2\pi a$K en die van den last $2\pi r$L; het verlies bedraagt alzoo:

$$2\pi(a\mathrm{K}-r\mathrm{L}) = 2\pi\left(\frac{2(r+\rho)\,|\,r^2a^2-\rho^2(r^2+a^2)\,|}{a^2r(2r+\rho)-\rho(r^2+a^2)} - r\right)\mathrm{L},$$

$$= 2\pi\rho\,\frac{r^2a^2-\rho(r+2\rho)(r^2+a^2)}{a^2r(2r+\rho)-\rho^2(r^2+a^2)}\,\mathrm{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Zonder groote afwijking kan men in den coëfficient van L de termen met ρ vermenigvuldigd, tegen de overige weglaten, waardoor het verlies aan arbeid wordt $= \pi\rho$L, juist de helft van het verlies wanneer de kracht altijd in evenwijdige rigting werkt. Er bestaat alzoo werkelijk verlies aan arbeid, wanneer de kracht niet loodregt blijft op den arm der kruk; dit verlies is echter in vergelijking van den totalen arbeid gering: neemt men bijv. den straal van den tap $= 0{,}1$ van den straal des cilinders waaraan de last werkt, en voor de sinus van den wrijvingshoek 0,1, dan is bij eene geheele omwenteling, de voortgebragte arbeid $2\pi r$L en het verlies door de wrijving $0{,}01.2.\pi r$K; zoodat het verlies bij eene kracht loodregt op den arm der kruk, één ten honderd van den overgebragten arbeid bedraagt, en bij eene kracht die altijd in evenwijdige rigting werkt, twee ten honderd; terwijl bij deze laatste de snelheid niet beneden zekere grens mag dalen.

De hier ontwikkelde berekeningen kunnen tevens tot voorbeeld strekken bij het bepalen van het verlies aan arbeid door de wrijving der spillen in hare tappannen veroorzaakt; over het algemeen is dit verlies gering, indien de tappen niet buitengewoon dik en tevens behoorlijk met olie of andere stoffen gesmeerd zijn.

2. *Het hijschen.*

§ 29. Bij het hijschen, alwaar meestal de arbeider aan een touw trekt in nagenoeg verticale rigting, valt niets bijzonders aan te merken. Zijn de lasten niet te zwaar, dan geschiedt het hijschen door middel van een touw over een' katrol geslagen; bij zwaardere lasten door middel van eene wind-as (Fig. 5), alwaar om het rad een touw zonder eind is aangebragt, geklemd tusschen ijzeren haken, op den omtrek van het rad bevestigd. Het verlies door de wrijving der tappen kan onmiddellijk berekend worden door de formulen in §§ 251 tot 261 der Statica ontwikkeld,

waardoor men namelijk het overwigt berekenen kan voor het overwinnen dier wrijving noodig; dit overwigt vermenigvuldigd met den weg door de kracht gedurende zekeren bepaalden tijd afgelegd, geeft het verlies aan arbeid gedurende dien tijd.

3. *Het duwen of trekken.*

§ 30. Bij het duwen of trekken van wagens, worden soms onmiddellijk de handen gebruikt, zooals onder anderen aan den kruiwagen. Bij andere wagens trekt de arbeider door middel van een gareel, waartegen hij zijne schouders steunt; in dit laatste geval moet de rigting der trekkracht door middel van het gareel in zooveel mogelijk evenwijdige rigting met den weg, of eigenlijk een' kleinen hoek opwaarts maken om op het voordeeligst te werken. In de Statica (§§ 378 en 380) is aangewezen hoe men dien hoek bij wagens bepalen kan; doch is daarbij tevens gebleken dat eenige afwijking hierin, weinig invloed heeft op de trekkracht.

§ 31. Bij het voorttrekken of duwen van schuiten, wordt de wederstand grooter naarmate de snelheid toeneemt, omdat de wederstand van het water grooter wordt, terwijl bij het bewegen van lasten over den grond de tegenstand dezelfde blijft, welke ook de snelheid zij, kunnende men in de meeste gevallen den tegenstand der lucht verwaarloozen, terwijl de overige tegenstanden uit de wrijving of onevenheden van den weg, niet met de snelheid veranderen. Bij de beweging van lasten over den grond komt de snelheid slechts in zoo verre in aanmerking, als zij, zoo als in § 17 is gezegd, geregeld dient te wezen om den meesten arbeid met de minste vermoeijenis voort te brengen, blijvende hierbij de tegenstand onveranderd. Er is dan, de tegenstand der lucht buiten rekening gelaten, evenveel arbeid noodig om eenen last door middel van eenen wagen te vervoeren, welke ook de snelheid zij; hierin is het groote verschil gelegen bij het vervoeren van lasten te water of te land. Te water kan men zeer groote lasten met zeer geringe krachten of arbeid vervoeren, doch dan is de snelheid zeer gering. Te land moet er een bepaalde arbeid besteed worden tot het vervoer, welke ook de snelheid zij. Heeft men alzoo geen belang in den meer of minder besteedden tijd, zoo als bij het vervoer van goederen, alwaar de kosten van den

arbeid meestal alleen in aanmerking komen, dan zal het vervoer te water voordeeliger wezen. Is daarentegen de tijd van veel belang, zoo als bij het vervoer van reizigers, dan zal meestal het vervoer over land voordeeliger worden.

§ 32. Men merke hierbij wel op, dat ofschoon er geen meer kracht noodig is om een' wagen snel of langzaam over den weg te bewegen, echter daarom de arbeid van menschen of paarden bij groote snelheden veel spoediger is uitgeput, en daarenboven, zoo als wij reeds in § 17 aanmerkten, er voor elke snelheid slechts eene bepaalde drukking op het aangrijpingspunt kan worden voortgebragt. Men kan dus bij eene bepaalde drukking ook eene bepaalde snelheid niet overtreffen; of wel, zoo men dit door eene meer dan gewone inspanning verkrijgt, kan die inspanning niet zeer lang duren; in korter tijd wordt dan het vermogen verspild, waarvan men, door eene gepaste snelheid te gebruiken, veel meer arbeid had kunnen trekken.

Hoewel dan, bij voorbeeld bij een' wagen door paarden getrokken, de spanning der strengen of de drukking op de trekknuppels niet toeneemt, met welke snelheid de wagen ook voortgaat, zoo zullen de paarden veel eerder bij zeer groote snelheden uitgeput raken, omdat men hen dwingt, bij eene bepaalde drukking, de zeer groote snelheid van het aangrijpingspunt te volgen, zonder welke zij de verlangde drukking op de strengen niet kunnen voortbrengen.

Het hier gestelde omtrent de standvastigheid van den wederstand van wagens, welke ook de snelheid zij, is alleen waar, voor zoover die tegenstand voortvloeit uit de wrijving bij de assen en langs den grond. Doch wanneer er botsingen ontstaan kunnen, zooals bij het rijden over eenen straatweg, alwaar bijkans elke steen bij het ontmoeten der raderen eene botsing veroorzaakt, heeft er meer verlies van arbeid plaats bij groote snelheden dan bij kleinere. Rekent men dat, bij het stooten van een wagenrad tegen de steenen der bestrating, de botsing zich mededeelt aan de omringende steenen en verdere bestanddeelen van den weg, dan zou men de massa die door het rad gestooten wordt, als oneindig in vergelijking van het rad en den wagen kunnen stellen en alsdan zou, naar aanleiding der formule (α) van § 223 der Dynamica, het verlies bij elke botsing zijn $\frac{MC^2}{2g}$, waarin M het gewigt en C de

snelheid van den wagen voorstelt. Meestal zal het verlies minder zijn, omdat de steenen en de wagen eenige veerkracht bezitten, vooral als deze laatste op veren is gesteld. De veren geven behalve het gemak, werkelijk eene besparing van arbeid, die bij groote snelheid aanzienlijk is.

4. *Het arbeiden door het gewigt van den arbeider.*

§ 33. De mensch kan op verschillende wijze door zijn gewigt arbeiden; veelal geschiedt dit door het loopen in het sport- of treerad (Fig. 6), bestaande hoofdzakelijk uit een rad van omtrent 2 el middellijn, aan welks buitenomtrek sporten of treden zijn aangebragt, waarop de arbeider zich stelt; door zijn gewigt brengt hij het rad en den verderen toestel in beweging, terwijl hij, naarmate het rad draait, de achtereenvolgende sporten beklimt. Het grootste moment wordt voortgebragt als de arbeider op het eind van den horizontalen straal staat.

§ 34. Indien de plaatselijke gelegenheid toelaat het rad eene zeer groote middellijn, bijv. van omtrent 5 à 6 el te geven, dan kan men, zoo als in Fig. 7, de sporten aan de binnenzijde plaatsen. Alsdan moet de arbeider zich in B nabij het ondereinde stellen, ten einde de vereischte ruimte voor zijne beweging te hebben; meestal is de boog AB 20 à 30 graden. Het moment van den arbeider is dan wel minder dan in Fig. 6, maar daarentegen heeft hij zich niet tegen zulk eene steile helling te bewegen; hij kan sneller gaan, zonder zich te veel te vermoeijen.

5. *Het dragen.*

§ 35. Het dragen van lasten op den rug of de schouders, geschiedt tegen hellingen of wel op waterpassen grond. In dit laatste geval kan men eigenlijk niet zeggen dat er arbeid geleverd wordt in den zin, waarin wij, in de Dynamica § 205, den arbeid bepaald hebben; want de geleverde arbeid het product zijnde van den last met de hoogte waarop hij geheven wordt, zoo is er bij het vervoeren in horizontale rigting geene hoogte of geen weg van den last. In den gewonen zin van het woord is er evenwel arbeid verrigt, die slechts niet op de, in de Dynamica, beschreven wijze kan beoordeeld worden. Wanneer lasten tegen eene zeer flaauwe hoogte worden gedragen, en dus de meeste zwarigheid of vermoeijenis

niet bestaat in het naar boven brengen van den last, maar in het doorloopen van den weg in horizontale rigting, dan kan evenmin de arbeid beoordeeld worden uit het product van den last met de hoogte waarop hij gebragt is; de horizontale afstand komt daarbij hoofdzakelijk in rekening. Men is wel gewoon bij het vervoer van lasten langs horizontale wegen, den arbeid voor te stellen door het product van den last met den horizontalen weg, omdat ook hier het verrigte werk in zamengestelde reden van den weg en den last is; doch de eenheid waarmede dan het werk gemeten wordt, is eene geheele andere, dan de eenheid bij het beoordeelen van den arbeid voor het heffen van lasten in gebruik. Dit onderscheid in aanmerking nemende, is er geene zwarigheid om bij het vervoer van lasten in horizontale rigting, het product van den last met den weg, als den arbeid voorstellende, in rekening te brengen.

§ 36. Geschiedt het vervoer echter door middel van eenen wagen of dergelijken toestel, zoodat de last eigenlijk niet gedragen maar voortgestuwd wordt, dan heeft de arbeider bij het voortduwen eenen wederstand in de rigting der beweging te overwinnen, en alsdan is de verrigte arbeid het product van den weg met dien wederstand, en kan alzoo op de gewone wijze beoordeeld worden.

HOEVEELHEID ARBEID VAN MENSCHEN.

§ 37. De volgende tafel bevat eenige opgaven omtrent het werk door menschen in verschillende omstandigheden verrigt; waarbij men echter in het oog moet houden dat die uitkomsten bij verschillende arbeiders zijn verkregen en zij slechts als gemiddelde uitkomsten, waarvan de uiterste gevallen zeer merkelijk kunnen afwijken, zijn te beschouwen.

AARD VAN HET WERK.	Drukking op het aangrijpingspt.	Snelheid.	Arbeid in de seconde.	Uren arbeid daags.	Arbeid per dag.
	Ponden.	El.			Werk-eenheden.
Een arbeider draaijende aan eene kruk	8	0,75	6	8	172 800
Een arbeider trekkende aan een touw om lasten op te hijschen, waarbij het touw telkens onbezwaard wordt nedergelaten.	18	0,2	3,6	6	77 760
Een arbeider gewigten met de hand opheffende. .	20	0,17	3,4	6	73 440
Een arbeider werkende of trekkende in horizontale rigting en daarbij voortgaande	12	0,6	7,2	8	207 360
Een arbeider op een sportrad op de hoogte der as. .	60	0,15	9	8	259 200
» » op het ondereinde aan de binnenzijde .	12	0,70	8,4	8	241 920
» » langs eenen horizontalen weg gaande, alleen zijn eigen gewigt dragende	65	1,5	97,5	10	3 510 000
Een arbeider lasten dragende langs eenen horizontalen weg, den last alleen in rekening brengende.	40	0,75	30	7	756 000
Een arbeider lasten op den rug dragende en telkens ledig teruggaande om nieuwe lasten te halen..	65	0,5	32,5	6	702 000
Een arbeider lasten heffende door het dragen langs eenen trap of eene flaauwe helling.	65	0,04	2,6	6	56 160

§ 38. Ofschoon men de getallen in deze tafel niet als volkomen naauwkeurig beschouwen kan, zoo zijn echter daaruit eenige niet onbelangrijke gevolgen af te leiden. Het blijkt uit deze opgaven, dat het arbeiden aan eene kruk meer dan dubbel zooveel oplevert, dan wanneer men aan een touw doet trekken om gewigten op te hijschen; het zal dus altijd voordeelig wezen voor zoover de besparing van arbeid betreft, de arbeiders aan krukken te doen werken. Nog veel voordeeliger zal het wezen een sportrad te gebruiken; hoewel de groote ruimte door zulk een rad vereischt, in vele gevallen een' aanmerkelijken hinderpaal oplevert. Een der onvoordeeligste wijzen om de kracht van menschen te gebruiken, is het dragen van lasten langs een' trap of eene helling; er zal altijd veel voordeel in gelegen zijn, in plaats daarvan, werktuigen te nemen.

De werk-eenheden bij het dragen van lasten langs horizontale wegen, niet vergelijkbaar zijnde met die voor het heffen van lasten, zoo kan over het meer of minder voordeelig gebruik, in vergelijking van het gebruik van werktuigen, niet geoordeeld worden; alles hangt hier af van de soort van wagen of ander' toestel waarmede de last vervoerd wordt, en van den staat van den weg. Zoo hebben wij in de Statica (§ 375) een voorbeeld berekend waarbij een wagen, die hinderpalen van een duim hoogte op den weg ontmoet, eene kracht van 0,209 maal den last vereischt; neemt men nu aan, dat een arbeider, blijkens de voorgaande tafel, al duwende eene drukking van 12 pond kan voortbrengen, bij eene snelheid van 0,6 el, dan zal hij met dien wagen en over den aangenomen weg een' last van 56,7 pond met de snelheid van 0,6 el kunnen vervoeren. Het product van den last met den weg in eene seconde is 34,02, zijnde iets meer dan het product in de tafel voor een' arbeider opgegeven, die eenen last op zijn' schouder of rug wegdraagt. Voor eenen volmaakt gladden weg vindt men, in § 375 der Statica, met denzelfden wagen K=0,012 L; de arbeider zou dan een' last van 1000 pond met eene snelheid van 0,6 kunnen vervoeren, of een product van 600 kunnen leveren, hetwelk veelmalen overtreft het product in de tafel voor het dragen van lasten opgegeven. Doch men onthoude wèl, dat de producten van den weg met den vervoerden last geen mechanische arbeid mogen genoemd worden. De eigenlijk besteedde arbeid is het product van den weg, met de drukking evenwijdig aan den weg uitgeoefend.

§ 38. Ofschoon men de getallen in deze tafel niet als
komen naauwkeurig beschouwen kan, zoo zijn echter da
eenige niet onbelangrijke gevolgen af te leiden. Het blijkt
dezen opgaven, dat het arbeiden aan eene kruk meer dan du
zooveel oplevert, dan wanneer men aan een touw doet trek
om gewigten op te hijschen; het zal dus altijd voordeelig we
voor zoover de besparing van arbeid betreft, de arbeiders a
krukken te doen werken. Nog veel voordeeliger zal het wez
een sportrad te gebruiken; hoewel de groote ruimte door zu
een rad vereischt, in vele gevallen een' aanmerkelijken hinder
paal oplevert. Een der onvoordeeligste wijzen om de kracht va
menschen te gebruiken, is het dragen van lasten langs een' trap
of eene helling; er zal altijd veel voordeel in gelegen zijn, in
plaats daarvan, werktuigen te nemen.

De werk-eenheden bij het dragen van lasten langs horizontale
wegen, niet vergelijkbaar zijnde met die voor het heffen van
lasten, zoo kan over het meer of minder voordeelig gebruik, in
vergelijking van het gebruik van werktuigen, niet geoordeeld wor-
den; alles hangt hier af van de soort van wagen of ander' toestel
waarmede de last vervoerd wordt, en van den staat van den weg.
Zo hebben wij in de Statica (§ 375) een voorbeeld berekend
waarbij een wagen, die hinderpalen van een duim hoogte op
zijnen weg ontmoet, eene kracht van 0,209 maal den last vereischt;
wanneer men nu aan, dat een arbeider, blijkens de voorgaande tafel,
een zwende eene drukking van 12 pond kan voortbrengen, bij eene
snelheid van 0,6 el, dan zal hij met dien wagen en over den
genomen weg een' last van 56,7 pond met de snelheid van
0,6 el kunnen vervoeren. Het product van den last met den
weg in eene seconde is 34,02, zijnde iets meer dan het product
in de tafel voor een' arbeider opgegeven, die eenen last op zijn'
rug [illegible] wegdraagt. Voor eenen volmaakt gladden weg
[illegible] Statica, met denzelfden wagen K=0,012 L;
[illegible] van 1000 pond met eene snelheid
[illegible] ven product van 600 kunnen le-
[illegible] reft het product in de tafel voor
[illegible]. Doch men onthoude wèl, dat
[illegible] den vervoerden last geen me-
[illegible] worden. De eigenlijk besteedde
[illegible] weg, met de drukking evenwijdig

b.) ARBEID VAN PAARDEN.

§ 39. De paarden worden bijna alleen gebruikt om te trekk of om lasten op den rug te vervoeren. Zelden worden zij g bruikt om door hun gewigt, zoo als de mensch in de sportrad ren, beweging voort te brengen.

Zoo als bekend is, worden de paarden aangespannen door mi del van strengen, die op een haam of op eenen borstriem werke Het haam wordt in het algemeen, wanneer er op den duur zwa lasten worden vervoerd, boven den borstriem verkozen, omd het aan de borst der paarden meer vrijheid laat; het haa moet echter goed tegen den schouder aanleggen om niet nadee te werken.

In de werktuigen loopen de paarden meestal op een cirke vormig pad, ten einde eene voortdurende ronddraaijende bew ging voort te brengen. De straal van dit pad mag niet ve minder dan 3 el bedragen, omdat anders de paarden, door sterke buiging die zij moeten aannemen, zich te veel vermoeije

§ 40. Wanneer men paarden gebruikt om lasten te drag langs horizontale wegen, dan wordt er eigenlijk evenmin we verrigt als door den mensch; de eenheden welke voor dit geval h product van den weg met den last bevat, zijn geheel ande dan de gewone mechanische werk-eenheden.

Wordt het paard gebruikt om door middel van eenen wag of ander' toestel lasten te vervoeren, dan is het product van spanning evenwijdig aan den weg op de strengen, of op elk and aangrijpingspunt uitgeoefend, met den doorgeloopen weg, de ui drukking van den verrigten arbeid. Met denzelfden arbeid ku nen dan grootere of kleinere lasten vervoerd worden, naarma van den toestand der wegen en de meer of mindere volkomenhe der voertuigen; even als bij elk ander werktuig door denzelfd arbeid meer of minder uitwerking verkregen wordt, naarmate v zijne betere of slechtere inrigting. Het is in zulke gevallen geh verkeerd, den arbeid voor te stellen door het product van den w met den vervoerden last.

De volgende tafel bevat eenige opgaven omtrent den arbeid v paarden.

AARD VAN HET WERK.	Drukking op het aangrijpingspt.	Snelheid van het aangrijpingspt.	Arbeid in de seconde.	Uren werk daags.	Arbeid per dag.
		El.			
Een paard in eenen molen, stappende; volgens NAVIER.	45	0,90	40,5	8	1 166 400
» stappende; volgens HACHETTE.			38,9	4,5	1 123 000
» dravende volgens NAVIER.	30	2,00	60	8	972 000
» stappende, uit drie waarnemingen van HACHETTE gemeten door den geleverden arbeid. . . .			31,2	8	618 000
» stappende gemeten door den geleverden arbeid opgave van D'AUBUISSON			36,5	8	1 051 200
» gemiddelde uit verscheiden waarnemingen door D'AUBUISSON medegedeeld; de arbeid gemeten op den last.	50	0,80	40	8	1 520 000
Een paard zeer langzaam regtuit gaande, trekkende eene schuit aan eene lijn.	65	0,80	52	11	2 059 200

§ 41. Uit de vergelijking van den arbeid stappende of dr
vende, ziet men duidelijk welk verlies er ontstaat door de gr
tere snelheid, niettegenstaande de spanning, dravende uitgeoefen
veel minder is dan stappende; bij het draven zijn de paard
veel eerder vermoeid, omdat zij te gelijk met het uitoefenen
spanning, hun ligchaam zelf met grootere snelheid moeten
wegen.

Het is moeijelijk de drukking of spanning te bepalen die e
paard bij verschillende snelheden op de strengen of aangrijping
punten. kan uitoefenen; althans heeft men hieromtrent slec
weinige waarnemingen. Men kan eigenlijk een paard met dezel
spanning op de strengen, zeer verschillende snelheden doen aa
nemen, doch alsdan put men in zeer verschillenden tijd zij
geheele kracht uit: bijv. de paarden voor postrijtuigen kan m
groote snelheden doen aannemen, bij vrij aanzienlijke lasten, d
dan is in één of twee uren het vermogen van het paard v
eenen geheelen dag uitgeput. Door de snelheid veel te vermi
deren kan men den arbeid veel langer doen duren en ten slo
den last over eenen langeren weg vervoeren. Bij het overbreng
van goederen, alwaar de tijd minder in aanmerking komt d
de kosten, leert de ondervinding, dat er stappende veel meer w
verrigt wordt dan dravende of met snellere gangen.

Volgens waarnemingen van eenige Engelsche Ingenieurs kan
een paard werkende 8 uren daags leveren 3237 pond. op 1 el in de m

»	»	»	6	»	»	»	3446	»	»	»	»	»
»	»	»	$4^1/_2$	»	»	»	3741	»	»	»	»	»
»	»	»	3	»	»	»	4555	»	»	»	»	»

Hetgeen overeenkomt met eenen dagelijkschen arbeid van:

bij	8	uren	1 554 000	ponden	op	1 el.
»	6	»	1 241 000	»	»	»
»	$4^1/_2$	»	1 010 000	»	»	»
»	3	»	820 000	»	»	»

De volgende opgaven zijn ontleend uit een opstel van den Fra
schen Ingenieur-kapitein Fourrier, opgemaakt uit waarneming
in Engeland en Frankrijk gedaan, over den arbeid van paard

arbeid door een paard per dag geleverd.

Snelheid in Ned. mijlen per uur.	GELEVERDE ARBEID. in verticale rigting.	Puinweg.	Straatweg.	IJzeren weg.	Kanaal.	*AANMERKINGEN.*
2	1,24	15,40	23,10	189,40	2469,00	De arbeids-eenheid is genomen gelijk aan 1000 pond op 1000 el geheven; alzoo 1 000 000 maal grooter dan in § 40. De getallen in de tafel zijn slechts gedeeltelijk uitkomsten der waarneming; de overige zijn door berekening gevonden.
3	1,78	22,15	33,23	271,90	1575,00	
3,20	1,80	22,40	33,60	275,00	1400,00	
4	1,79	22,28	33,42	273,50	891,00	
5	1,75	21,78	32,67	267,40	557,50	
6	1,69	21,03	31,55	258,20	373,90	
7	1,60	19,91	29,87	244,40	260,00	
8	1,49	18,54	27,81	227,60	185,40	
9	1,37	17,05	25,57	209,30	134,70	
10	1,23	15,31	22,96	187,90	97,96	
11	1,07	13,32	19,98	163,50	70,43	
12	0,92	11,45	17,17	140,60	50,88	
13	0.76	9,46	14,19	117,10	35,82	
14	0,60	7,47	11,20	91,67	24,38	
15	0,46	5,72	8,58	70,28	16,28	
16	0,33	4,11	6,16	50,42	10,27	
17	0,21	2,61	3,92	32,08	5,79	
18	0,12	1,49	2,24	18,33	2,95	
19	0,06	0,75	1,12	9,17	1,32	
20	0,01	0,12	0,18	1,53	0,20	

Behalve den arbeid in verticale rigting, geven de getallen in de overige kolommen niet den arbeid zoo als wij dien vroeger hebben bepaald; die getallen bevatten het product van den last met den afgelegden weg, en dus niet den weg in de rigting van den last; zij zijn alzoo niet vergelijkbaar met die van § 40. Het blijkt overigens dat al te kleine snelheden op de gewone en ijzeren wegen nadeelig zijn, maar eene snelheid van 3 à 4 nederl. mijlen in het uur het voordeeligste is. Bij kanalen, alwaar de tegenstand in de vierkante reden der snelheid toeneemt, zijn blijkbaar de kleinste snelheden de voordeeligste.

§ 42. Uit de verschillende hoeveelheden arbeid door menschen en paarden in onderscheidene omstandigheden verrigt, ziet men de onmogelijkheid van eene vaste betrekking tusschen den arbeid van paarden en menschen vast te stellen. Een arbeider draaijende aan eene kruk levert een' arbeid die bijna het een zesde bedraagt van den arbeid eens paards in eenen molen; doch bij het dragen van gewigten tegen eene helling, is de arbeid van den mensch slechts het twintigste gedeelte van dien van het paard.

§ 43. Dewijl men veeltijds paarden tot het bewegen van werktuigen gebruikt, vooral vroeger, toen de stoomwerktuigen minder algemeen waren, zoo is het gewoonte geworden, den arbeid van elke andere kracht met dien van het paard te vergelijken en alzoo den arbeid van het paard tot eenheid te nemen. Doch de groote ongelijkheid van dien arbeid, naarmate van de kracht der paarden, hun' ouderdom, geslacht enz., heeft eene vaste, doch denkbeeldige maat voor den arbeid van een paard doen kiezen, om daarmede den arbeid van andere krachten op werktuigen te vergelijken.

Watt, in Engeland, heeft den arbeid van een paard gelijk gesteld aan het heffen van 33000 ponden *avoir du poids*, ter hoogte van een engelschen voet per minuut, hetgeen nagenoeg overeenkomt met 75 nederl. ponden op 1 el hoogte in de seconde. Deze maat is naderhand vrij algemeen aangenomen, en men meet thans bij stoomwerktuigen den verrigten arbeid met deze eenheid, die men ook wel de arbeid van een *stoompaard* noemt; deze arbeid overtreft echter merkelijk den arbeid door eigenlijke paarden voortgebragt; te meer nog daar het stoompaard vierentwintig uren of het geheele etmaal achtereen kan werken, terwijl het eigenlijke paard slechts 8 uren in dien tijd kan gebruikt worden; zoodat

een stoompaard in een etmaal het werk van 5 of 6 eigenlijke paarden verrigt.

§ 44. Men zou zich evenwel zeer bedriegen, wanneer men een werktuig, hetwelk met 5 à 6 eigenlijke paarden bewogen werd, door een stoomwerktuig van één stoompaard wilde vervangen; want bij het stoomwerktuig zou de arbeid in 24 uren worden verrigt, die met gewone paarden slechts 8 uren zou vereischen; het werk geschiedt dus veel langzamer en dit is niet altijd mogelijk noch gepast: een korenmolen bijv. zou eene geheel andere inrigting moeten bekomen, om in 24 uren dezelfde hoeveelheid graan te malen, dan anders in 8 uren.

Er zijn daarenboven gevallen waarin de tijd voornamelijk in aanmerking komt, te weten: bij het vervoer van personen. Indien bijv. eene stoomboot, tot welker beweging met eene bepaalde snelheid 5 à 6 eigenlijke paarden noodig waren, door een stoomwerktuig van één stoompaard werd bewogen, dan zou de snelheid van de boot aanmerkelijk verminderen en alzoo het doel geheel gemist worden. Het niet inzien van dit verschil heeft langen tijd het gebruik van stoomwerktuigen in vaartuigen belet, doordien de werktuigen bij de eerste proeven veel te zwak waren.

c.) ARBEID VAN DEN WIND.

§ 45. Behalve de werking van den wind op zeilen die schepen drijven, wordt hier te lande veel gebruik gemaakt van den wind tot het bewegen van molens. Tot dat einde doet men den wind werken op zeilen over de molenwieken gespreid, waardoor deze met de daaraan verbonden molenas worden rondgevoerd. Meestal wordt de as nagenoeg horizontaal, en worden alzoo de wieken in eene bijna verticale rigting geplaatst.

Men heeft wel beproefd de as verticaal en de wieken in een horizontaal vlak te stellen, maar met geen' goeden uitslag. Bij die inrigting kan de wind slechts op één wiek van dezelfde molenroede te gelijk werken, dewijl anders geen ronddraaijende beweging ontstaat; de wind werkt alzoo slechts gelijktijdig op een vierde gedeelte der oppervlakte van de zeilen, terwijl bij den gewonen of verticalen stand, al de zeilen te gelijk door den wind worden gedreven. Daarenboven kan bij horizontale wieken de snelheid van hare einden niet grooter dan die van den wind

zijn, zal deze over de geheele uitgestrektheid van de wiek drukken; hierdoor wordt bij slappe winden de hoeksnelheid van de molenas te gering om daarvan eenig nut te trekken. Andere toestellen, om door den wind eene verticale as te doen draaijen, hebben tot nu toe niet voldaan.

§ 46. Bij de gewone windmolens werkt de wind op zeilen die over een rooster van latwerk (Fig. 8*d*), *hek* genaamd, gespannen zijn. De hekken zijn bevestigd langs eene roede door de as gestoken. Hier te lande heeft men altijd twee roeden die elkander regthoekig kruisen; er zijn alzoo vier zeilen aan de werking van den wind blootgesteld.

Laat *ADEB* (Fig. 8*a*) de verticale projectie van het zeil aan de roede *ABC* bevestigd, voorstellen, de roede zelve verticaal gesteld zijnde, dan zal men, om een juist denkbeeld te verkrijgen van den vorm dien men aan het uitgespannen zeil geeft, zich kunnen voorstellen die oppervlakte door vlakken evenwijdig aan *EB*, of loodregt op de roede *AC* in een groot aantal strooken *Ba*, *ad*, *cf* enz. verdeeld te zijn; die men, zonder merkelijke afwijking, als platte vlakken zal mogen beschouwen. Elk dezer vlakken maakt eenen verschillenden hoek met het vlak der beweging, of met het vlak loodregt op de draaijingsas.

Indien alzoo *L'C'* de horizontale projectie van die as en *H'C'* het vlak der beweging voorstelt, dan zal de projectie van den eersten regthoek *aB* in *E'C'* vallen en alzoo eenen hoek *E'C'H'* met het vlak der beweging vormen; terwijl de achtereenvolgende regthoeken *cb* enz. zich volgens andere lijnen *C'a*, *C'c'* enz. projecteren. Bij de molens hier te lande, wordt, van *B* naar *A* gaande, de hoek *E'C'H'* eerst grooter tot op een vijfde of een zevende gedeelte der lengte van *AC*, vervolgens neemt de hoek weder af, zoodat men zelfs het laatste gedeelte *AD* eenen hoek geeft in tegengestelde rigting, dat is volgens *C'D'*, van nagenoeg 3 à 4 graden. Het zeil vormt alzoo een scheef oppervlak, zooals uit (Fig. 8*d*) te zien is, alwaar eene gewone molenwiek met haar hek is voorgesteld.

§ 47. Beschouwt men de werking van den wind op een der regthoeken, bijv. op *bc*, zich projecterende in *C'E'* (Fig. 8*a*), en neemt men de rigting van den wind evenwijdig aan de as, dan zal men de botsing van den wind als eene kracht kunnen voorstellen, loodregt op *C'E'* en gerigt door het zwaartepunt *G'* van

den regthoek. Deze kracht, volgens $G'I'$ werkende, kan men ontbinden in eene kracht evenwijdig aan de as $L'C'$, die de as tracht achteruit te drukken, en in eene kracht $G'K'$, die de ronddraaijende beweging voortbrengt. Elk der regthoeken of strooken waarin wij het zeil verdeeld hebben, geeft aanleiding tot zulke krachten, die, op de verschillende punten van de roede werkende, zoowel de as drukken als hare omdraaijing veroorzaken. De werking echter op de strooken, die, zooals de bovenste of uiterste, een hoek $H'C'D'$ aan de andere zijde van het vlak der beweging vormen, tracht eene beweging in tegengestelde rigting voort te brengen; de werking op die gedeelten zou dus van die der overige moeten worden afgetrokken, om de geheele werking van den wind op het ronddraaijen te vinden, en strekt dus ten nadeele der beweging.

Men meent echter door die stelling van de uiterste strooken, den wind meer op het zeil te houden, dewijl daardoor het zeil eene eenigzins holle oppervlakte vormt, waarin de wind beter wordt opgevangen. In de Hydrodynamica (§ 118) hebben wij doen opmerken, dat men de drukking van stroomend water tegen een vlak vermeerdert door de stroomdraden tot grootere afwijkingen te dwingen, en dat alzoo de tegenstand, door het aanbrengen van opstaande randen aan een vlak, de drukking tegen het vlak vermeerderde; evenzoo dwingt bij de molens de beschreven plaatsing der uiterste strooken, de luchtdeelen tot eene grootere afwijking. Evenwel kan dit maar alleen toegepast worden op de luchtdeelen die nabij de uiteinden op het zeil treffen, en het is dus twijfelachtig of men eenig noemenswaardig voordeel van die stelling trekt. Men vindt zelfs enkele proeven aangehaald, waaruit men het tegendeel heeft meenen op te maken (1). Indien werkelijk de grootere afwijking der luchtdeelen invloed kan hebben, dan is een opstaande rand langs ED van veel meer nut. Eenige proeven hieromtrent zouden voorzeker niet onbelangrijk wezen. Er bestaat echter nog eene andere reden om aan de uiterste hekscheeden den aangewezen stand te geven: men tracht daardoor zooveel mogelijk het klapperen der zeilen op de hekken voor te komen. Dit klapperen ontstaat gewoonlijk wanneer de wieken met eenige aanmerkelijke snelheid het ligchaam van den molen voorbijgaan. De

(1) *Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap*, IV deel, p. 223.

wind op dit ligchaam terugstuitende, treft de zeilen van achteren en ligt die van de hekken. Het klapperen is nadeelig voor de hekken en voor de zeilen.

§ 48. Men heeft geen vaste regelen tot het bepalen van den juisten vorm der hekken, doch men volgt meestal de aanwijzingen in de molenboeken van VAN LIMPERCH en in die van NATRUS, VAN VUUREN en POLEY, die omtrent op het volgende neêrkomen.

De lengte der hekken, die omtrent 1,50 à 2,50 el uit het midden beginnen, wordt in een aantal gelijke deelen, ieder na genoeg 3 à 4 palm lang verdeeld, en alsdan wordt de hoek van de eerste en laatste strook, of liever van de eerste en laatste lat of hekscheede, benevens die van drie of vier tusschengelegen latten, volgens de hier ondervolgende tafeltjes bepaald. Deze scheeden volgens die opgave gesteld zijnde, spant men langs hare einden een koord, en plaatst dan de overige latten zoo, dat zij tegen dit koord rusten en met hare einden overal even ver van den voorkant der roede uitkomen. Op deze wijze verkrijgt dan het hek eenen eenigzins hollen vorm tot het opvangen van den wind. Volgens de opgave in het eerst aangehaalde molenboek, zouden de standen der hekken als volgt kunnen genomen worden:

Afstand van het ondereind van het zeil in deelen der lengte.	Hoek met het vlak der beweging.
0	25°
$\frac{4}{16}$	27°
$\frac{10}{16}$	$22\frac{1}{2}$°
$\frac{14}{16}$	$17\frac{1}{2}$°
$\frac{16}{16}$	13°
$\frac{22}{16}$	$7\frac{1}{2}$°
1	—$2\frac{1}{2}$°.

Deze opgave is overgenomen uit eene plaat over het boren der hekgaten in het molenboek van LIMPERCH. In dat van NATRUS VAN VUUREN en POLEY vindt men nog drie andere opgaven, die wij hier doen volgen. Het teeken — bij den hoek aan het einde der roede, wijst aan dat de hoek aan de andere zijde van het vlak der beweging moet genomen worden.

Afstand uit het ondereind van het zeil in deelen der lengte.	Hoek met het vlak der beweging.	
0	22°	Uit de teekening
$\frac{5}{16}$	$22\frac{1}{2}$°	op Plaat VIII van
$\frac{10}{16}$	18°	het I^e Deel.
$\frac{15}{16}$	15°	
1	— 4°.	
0	$19\frac{1}{2}$°	Uit de teekening
$\frac{5}{16}$	$20\frac{1}{2}$°	op Plaat IX van
$\frac{9}{16}$	$16\frac{2}{3}$°	het I^e Deel.
$\frac{14}{16}$	$12\frac{1}{2}$°	
1	— 4°.	
0	$22\frac{1}{2}$°	Uit de teekening
$\frac{1}{16}$	24°	op Plaat V en VI
$\frac{10}{16}$	20°	van het IIe Deel.
$\frac{13}{16}$	17°	
$\frac{20}{16}$	14°	
1	— $4\frac{1}{2}$°.	

Over het algemeen geven deze opgaven weinig van elkander afwijkende gedaanten aan de hekken; en het schijnt dat geringe afwijkingen hierbij van zeer weinig invloed zijn.

Dewijl de beide elkander kruisende roeden niet in hetzelfde vlak zijn gelegen, tracht men meestal aan de binnenroede eenige kromming te geven, zoodat de einden nagenoeg met de buitenroede in eenzelfde vlak komen, of in hetzelfde spoor loopen; hierdoor heeft er minder zijdelingsche tegenstand der lucht tegen de roede plaats; om dezelfde reden geeft men aan de binnenroede iets minder *zak* of *schoot*, door den hoek der middelste hekken kleiner dan aan de buitenroede te maken.

§ 49. De breedte der zeilen of hekken is meestal omtrent 1,80 el à 2,40, of twee en een half maal de breedte van het zeildoek tot de zeilen in gebruik; men noemt dit een zeil van $2\frac{1}{2}$ kleed.

Aan de andere zijde der roede, omtrent in het verlengde der zeilen, brengt men nog zoogenaamde windborden aan, gevormd uit dunne planken, makende met de roede zelve nog eene breedte van nagenoeg 0,5 el; de borden zijn meestal in het verlengde van de eerste lat of scheede nabij de as, en vormen alzoo met de

overige eenen zeer stompen hoek. Deze borden dienen tot het opvangen van den wind, en dus tot vermeerdering van de drukking op de wieken.

§ 50. De lengte der halve roeden of der wieken, meestal tusschen 10 en 16 el begrepen zijnde, zoo kan men nagaan dat de werking van den wind op de einden der wieken een zeer groot moment verkrijgt ten opzigte van het midden, en trachten zal aldaar de roede bij de as af te breken. Indien men alzoo, bij dezelfde lengte, de drukking van den wind op de roede wilde vermeerderen, zou men deze bij de as aanzienlijk moeten versterken; vooral omdat men niet altijd bij plotselinge verheffing van wind, de zeilen verminderen, of, zooals men het noemt, kan *zwichten*; men loopt dan veel gevaar dat de roeden afbreken. Dit is hoogstwaarschijnlijk de oorzaak, waardoor al die inrigtingen, waarbij men de werking van den wind op de roeden heeft trachten te vermeerderen, in onbruik zijn geraakt.

§ 51. De as *CD* (Fig. 9), waaraan de wieken verbonden zijn, wordt niet waterpas, maar achterover hellend gesteld; hierdoor vindt men gelegenheid beneden aan den molen meerdere ruimte te geven voor het aanbrengen van de overige deelen van het werktuig, en geeft men tevens eenen vasten stand aan het geheele zamenstel. Ook ontstaat daardoor meerdere ruimte tusschen het ondereind der wieken en het ligchaam van den molen, en dus vrijere werking van den wind op de wieken.

Bij verticale wieken kan men beneden aan den molen geen meerdere breedte dan boven geven, dewijl men de wieken voor elke rigting van den wind behoorlijk *op den wind* moet kunnen stellen. Meestal vormt de as eenen hoek van 9 tot 18° met den horizon. Aan deze as, die soms ook van ijzer wordt gemaakt, is, wanneer men de ronddraaijende beweging verder wil overbrengen, een rad *GH* aangebragt, dat de overige deelen van het werktuig in beweging brengt.

§ 52. In de Hydrodynamica (§ 135) is aangewezen, hoe weinig men nog met eenige juistheid de werking van de lucht tegen de daarin bewogen ligchamen kan berekenen, vooral wanneer het oppervlak, waartegen de werking plaats heeft, niet loodregt op de rigting der botsing is, of wel niet plat, maar gebogen is. Het is dus niet wel doenlijk met eenige naauwkeurigheid de werking van den wind op de gewone zeilen en borden der molens na te

gaan, hierbij komt nog de moeijelijkheid om eenigzins naauwkeurig de snelheid van den wind te meten; ook is de werking van den wind niet gelijk te stellen met die van eenen luchtstroom, die in al zijne deelen eene eenparige snelheid bezit; integendeel heeft er bij den wind eene golvende beweging der lucht plaats, zoodat in kort opeenvolgende oogenblikken, de snelheid der lucht groote veranderingen ondergaat; al hetwelk bijdraagt om de moeijelijkheid eener juiste berekening der werking van den wind te vermeerderen.

§ 53. Om evenwel eenigermate de uitwerking van den wind op de molenwieken te beoordeelen, zullen wij den wind beschouwen als een luchtstroom, eenparig bewegende in eene rigting, evenwijdig aan de as waarin de wieken bevestigd zijn; verder zullen wij aannemen, dat de botsing der lucht tegen een vlak loodregt op de rigting der snelheid, volgens de proeven van Borda (Hydrodyn. § 135), gelijk kan gesteld worden met het gewigt eener kolom lucht, die anderhalf maal de valhoogte tot de snelheid behoorende, tot hoogte heeft; wij nemen verder den wederstand evenredig met het oppervlak, hoewel de proeven getoond hebben dat die wederstand eenigzins in grootere reden toeneemt; doch daar die vermeerdering voor zulke groote oppervlakken als de zeilen der molens, niet bekend is, kunnen wij niet anders dan de evenredigheid tusschen de wederstanden en oppervlakken aannemen; de werking van den wind wordt daardoor dan eigenlijk kleiner ondersteld dan zij werkelijk is.

§ 54. Beschouwen wij in Fig. 8[a] het zeil als verdeeld in regthoeken aB, cb enz., elk eene differentiaal tot hoogte en de breedte b van het zeil tot breedte hebbende; zij $E'C'$ de horizontale projectie van zulk eene differentiaal op den afstand $Cb = r$ van het middelpunt, en α de hoek $E'C'H'$ van die differentiaal met het vlak der beweging; ontbinden wij verder de snelheid van den wind die volgens $G'F'$ werkt, loodregt en evenwijdig aan het vlak $E'C'$. De loodregte snelheid is $v \cos \alpha$, en de loodregte botsing tegen het vlak zal dan zijn (Hydrodynamica, § 135):

$$\frac{3\delta b}{4g} v^2 \cos^3 \alpha . \partial r ;$$

waarin δ het gewigt der cubieke eenheid lucht voorstelt; hierbij is dan het vlak $E'C'$ als stilstaande aangenomen. Daar echter het

vlak $E'C'$ eene draaijende beweging om het punt C' bezit, zo ontmoet de wind dit vlak niet meer met de snelheid $v \cos \alpha$ want stellende φ de hoeksnelheid der wieken om C', dan is d snelheid van $E'C'$ of van ad in de rigting van $G'K'$ loodregt o $G'F' = r\varphi$, en deze snelheid ontbindende volgens $E'C'$ en volgens $G'I'$, zoo is laatstgenoemde snelheid $r\varphi \sin \alpha$; derhalve i de loodregte snelheid, waarmede de wind op het vlak werkt, $v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha$, en alzoo de drukking volgens $G'I'$

$$\frac{3\delta b\check{\delta} r}{4g} (v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha)^2.$$

Ontbindende deze kracht volgens $G'F'$ en $G'K'$, dan is de kracht waarmede de molenwiek gedraaid wordt:

$$\frac{3\delta b\check{\delta} r}{4g} (v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha)^2 \sin \alpha.$$

De arbeid door deze kracht in eene seconde voortgebragt, waarbij de doorgeloopen weg $r\varphi$ is, zal dus zijn:

$$\frac{3\delta br\varphi\check{\delta} r}{4g} (v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha)^2 \sin \alpha;$$

waarbij echter $v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha$ niet negatief mag zijn.

Deze waarde geïntegreerd van $r_1 = CA$ tot $r_0 = CB$ zal den arbeid op een molenwiek doen kennen; dezen arbeid = A stellende heeft men:

$$A = \frac{3\delta b\varphi}{4g} \int_{r_0}^{r_1} r (v \cos \alpha - r\varphi \cos \alpha)^2 \sin \alpha . \check{\delta} r \quad . \quad . \quad (1$$

Tot het integreren dezer formule zou men de betrekking tu schen α en r moeten kennen in elk punt der roede; is het ze bijv. een plat vlak, dan is α standvastig.

Dewijl men den hoek α in elk punt tusschen B en C na goedvinden kan veranderen, zoo zal de formule (1) een maximu geven, wanneer men den hoek α zoodanig bepaalt dat in elk pu de uitdrukking

$$(v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha)^2 \sin \alpha$$

een maximum wordt. Volgens de bekende regels wordt hiera voldaan door α uit de vergelijking

$$(v \cos \alpha - r\varphi \sin \alpha) \cos \alpha - 2 \sin \alpha (v \sin \alpha + r\varphi \cos \alpha) = 0$$

te bepalen. Deze vergelijking geeft:

$$v - 3r\varphi \operatorname{tang} \alpha = 2v \operatorname{tang}^2 \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

waaruit men heeft:

$$\operatorname{tang} \alpha = -\frac{3r\varphi}{4v} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{9r^2\varphi^2}{16v^2}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b).$$

Uit deze vergelijking, het eerst door Maclaurin gegeven, blijkt al dadelijk dat de hoek α verandert in elk punt tusschen B en C, en dat daarenboven die hoek voor elke snelheid van den wind en voor elke verandering in de hoeksnelheid verschillend is. Daar nu de hekken der molenwieken, éénsgemaakt zijnde, niet voor elke windsnelheid kunnen veranderd worden, zal het nooit mogelijk zijn eene molenwiek zoodanig in te rigten dat zij voor elken wind de voordeeligste gedaante hebbe. Het best zou wezen den vorm aan te nemen die bij slappe winden de meeste uitwerking geeft, dewijl deze winden het meest waaijen, en het er bij sterke winden minder op aankomt of men een gedeelte der kracht verliest.

§ 55. De hoeksnelheid φ en de snelheid v van den wind bekend zijnde, zal men door de formule (a) of (b) de gedaante van de wiek volkomen kunnen bepalen. Snijdt men dit oppervlak door een vlak evenwijdig aan AC en loodregt op het vlak der figuur, dan wordt daardoor eene kromme lijn $D''d'E''$ (Fig. 8^b) gevormd, waarvan de ordinaat $y = c''d''$, overeenstemmende met eene abscis $Cd = r$ (Fig. 8^a), zou aangewezen worden door $y = a \operatorname{tang} \alpha$, als a de afstand voorstelt van het snijdend vlak tot AB; derhalve geeft dan (a) voor die kromme lijn:

$$a^2v - 3r\varphi ay = 2vy^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c),$$

zijnde de vergelijking eener hijperbool $D''E''$. Deze gedaante is geheel afwijkende van de gebruikelijke: want in plaats van de hijperbool $D''E''$, geeft men, naar aanleiding der opgaven in § 48, eene gedaante aan de hekken, welker doorsnijding met een vlak evenwijdig aan de roede en aan de molen-as, eene kromme lijn $D''L''E''$ (Fig. 8^c) geeft, die hare holle, in plaats van hare bolle zijde naar de roede keert.

§ 56. Wanneer men de differentialen waaruit het oppervlak der zeilen bestaat, ieder afzonderlijk beschouwt, dan kan de gedaante uit de vergelijking (c) afgeleid, zeer wel de voordeeligste wezen;

want zelfs is de werking op de differentialen tusschen $A''L''$ bij de gewone wieken nadeelig. Doch het zeil in zijn geheel beschouwd, heeft in Fig. 8e eene holle oppervlakte, waarin de wind beter wordt opgevangen dan bij de wieken volgens de vergelijking (c) gevormd. Men ondervindt alzoo reeds hier het gebrek aan eene juiste bepaling van den wederstand der lucht tegen gebogen oppervlakten van groote uitgebreidheid, en het blijft onzeker, of niet de gewone zeilen de voorkeur verdienen boven die uit de vergelijking (c) afgeleid.

§ 57. Den vorm der zeilen uit de vergelijking (c) afgeleid, aannemende, dan zou men door in (1), van § 54, de waarde van α in r te substitueren, die vergelijking kunnen integreren tusschen de grenzen van r_0 en r_1. In de aldus verkregen waarde van A zou men nu φ of de hoeksnelheid veranderlijk kunnen stellen en door de gewone regels der differentiaal-rekening de voordeeligste hoeksnelheid φ kunnen vinden.

Doch daar dan weder voor elke snelheid v van den wind eene andere hoeksnelheid voor het maximum der werking zou voortvloeijen, en alzoo ook weder andere waarden voor α, waaraan men toch niet voldoen kan, omdat men niet telkens de gedaante der hekken kan wijzigen, zoo zullen wij ons hier niet bij ophouden (1).

Wij zullen alleen, om de werking van den wind op de zeilen te beoordeelen, uit de gedaante door de vergelijking (a), van § 54, aangewezen, den arbeid berekenen daarbij door eene gegeven snelheid v op de wiek uitgeoefend.

In plaats van daartoe uit (a), § 54, voor α zijne waarde in (1), § 54, te stellen, zullen wij liever omgekeerd in (1) r en ∂r in α en $\partial\alpha$ uitdrukken. Uit (a) hebben wij

$$3r\varphi = v\,\frac{1-2\,\mathrm{tang}^2\alpha}{\mathrm{tang}\,\alpha}$$

en

$$3\varphi\partial r = -v\,\frac{1+2\,\mathrm{tang}^2\alpha}{\sin^2\alpha}\,\partial\alpha.$$

Deze waarden in (1), § 54, gesteld, geven:

$$A = -\frac{bv^4\delta}{27g\varphi}\int_{\alpha_0}^{\alpha_1}\frac{\cos^2\alpha-\sin^2\alpha-3\sin^4\alpha}{\cos^5\alpha\sin^2\alpha}\,\partial\alpha.$$

(1) Men kan deze berekening vinden bij Coriolis, *Du calcul des machines*, p. 2 1e *édition*.

Waaruit men door de bekende regels vindt:

$$(2)\ A = \frac{bv^4\delta}{54g\varphi}\left\{\frac{2-3\sin^2\alpha_1\cos^2\alpha_1}{\cos^4\alpha_1\sin\alpha_1} - \frac{2-3\sin^2\alpha_0\cos^2\alpha_0}{\cos^4\alpha_0\sin\alpha_0} + 3\,\text{nep.log}\frac{\text{tang}(45^\circ+\frac{1}{2}\alpha_0)}{\text{tang}(45^\circ+\frac{1}{2}\alpha_1)}\right\};$$

wordende α_1 en α_0 bepaald uit de vergelijkingen:

$$\text{tang}\,\alpha_1 = -\frac{3r_1\varphi}{4v} + \sqrt{\left(\tfrac{1}{2}+\frac{9r_1^2\varphi^2}{16v^2}\right)}$$

en

$$\text{tang}\,\alpha_0 = -\frac{3r\varphi_0}{4v} + \sqrt{\left(\tfrac{1}{2}+\frac{9r_0^2\varphi^2}{16v^2}\right)}.$$

§ 58. Om te onderzoeken in hoe verre deze formulen met de waarnemingen overeenkomen, zullen wij eene toepassing maken op eene der proeven, genomen in 1775 met een' grooten scheprad-molen nabij Bleiswijk, ter vergelijking van twee verschillende inrigtingen tot het uitmalen van water uit droogmakerijen (1). Het water werd uitgemalen door middel van een staand scheprad welks inrigting wij in de derde Afdeeling zullen doen kennen; men nam naauwkeurig waar, hoeveel water er in eenen bepaalden tijd werd uitgemalen, alsmede de hoogte der opmaling, om daaruit den verrigten arbeid op te maken; verder werd waargenomen het getal omwentelingen in dien tijd door de molenwieken gedaan. De snelheid van den wind werd niet onmiddellijk waargenomen, maar de aanwijzingen van den zoogenaamden windmeter van Polesi opgeteekend. Dit werktuig bestaat uit een vierkant koperen plaatje, aan zijnen horizontalen bovenrand zoo vrij mogelijk opgehangen en loodregt tegen de windstreek gekeerd. De wind deed dit plaatje afwijken uit den verticalen stand, en uit die afwijking kon men dan de meerdere of mindere sterkte van den wind beoordeelen. Evenwel, daar men den windmeter slechts bij het begin en het eind van elke proef, die telkens een half à anderhalf uur duurde, waarnam, was men geenszins zeker of de wind gedurende dien tijd zijne kracht had behouden; daarenboven maakte de golvende beweging der lucht het juist waarnemen der gemiddelde

(1) Douwes. *Verhandeling over de scheprad-molens*; in 1822 herdrukt onder den titel van *Verzameling van proeven betrekkelijk de staande en hellende scheprad-molens*.

hoeken zeer moeijelijk. Dit is ook op te maken uit het gebrek aan overeenkomst bij de aangehaalde proeven, tusschen de waargenomen hoeken van den windmeter en de snelheid van den molen, bij overigens gelijke omstandigheden. Wij kunnen dus slechts gissen naar de snelheid van den wind bij die proeven. De windmeter gaf daarenboven wel de drukking op het plaatje, maar niet de eigenlijke snelheid van den wind. Om eenigermate die snelheid te kunnen beoordeelen, volgt hier een tafeltje der windsnelheid door Smeaton gegeven. De wijze hoe de snelheden zijn gemeten en hoe de daarbij behoorende drukkingen zijn bepaald, is niet door Smeaton bekend gemaakt. Meer dan waarschijnlijk evenwel zijn die drukkingen uit de snelheden, of omgekeerd, berekend, dewijl die drukkingen zeer nabij aan de vierkanten der snelheden evenredig zijn, en nagenoeg overeenkomen met het gewigt van een prisma lucht, waarvan de hoogte gelijk is aan de dubbele valhoogte tot die snelheden behoorende; hetgeen met de proeven van Borda (Hydrodynamica, § 135) niet overeenstemt zoodat ook deze opgaven niet zeer te vertrouwen zijn.

Snelheid in de seconde.	Betrekking der snelheden.	Drukking op de vierk. palm.	Namen in het dagelijksche leven aan de winden gegeven (1).
0,447 el	1	0,00024	Een zuchtje.
0,894	2	0,00098	Flaauwe koelte.
1,341	3	0,00215	
1,789	4	0,00386	Bramzeils koelte.
2,234	5	0,00600	
4,471	10	0,02401	Marszeils-koelte.
6,705	15	0,05404	
8,942	20	0,09606	Gereefde marszeils-koelte.
11,176	25	0,15009	
13,412	30	0,21613	Digt gereefde marszeils-koelte.
15,648	35	0,29417	
17,885	40	0,38428	Rukwinden.
20,117	45	0,48629	
22,356	50	0,60036	Storm.
26,824	60	0,86466	Vliegende storm.
35,771	80	1,53702	Orkaan.
44,713	100	2,40142	Vernielende orkaan.

§ 59. Eenen goeden molenwind, waarmede een scheprad-molen met volle zeilen rondgaat, zal men nagenoeg gelijk kunnen stellen met eene gereefde marszeils-koelte, of op omtrent 10 à 11 el snelheid in de seconde. Bij de proef n°. 57 der hierboven aangehaalde molens, ging de zoogenaamde Binnenwegsche molen met eene snelheid van $60\frac{3}{4} = 60{,}133$ einden in de minuut, waarbij dus 15,033 omwentelingen werden volbragt: verstaande men door het getal einden het aantal malen dat elke molenwiek voorbij een bepaald punt komt. De molen bragt alstoen in eene minuut 396,36 tonnen water ter hoogte van $49\frac{5}{8}$ duim; 't geen, in ellemaat overgebragt, eenen arbeid geeft van 1393 in de seconde, dat is: van 1393 pond ter hoogte van een el. Dewijl de

(1) De namen der winden zijn overgenomen uit het *Volks wis- en werktuigkundig Leer- en Leerboek* van den Heer v. Oordt.

hoeksnelheid van den molen was

$$\varphi = \frac{60{,}133 \,.\, 2 \,.\, \pi}{4.60} = 1{,}5743 \text{ el}$$

en elke wiek gemiddeld lang was 13,384 el, voorzien ter lengte van 10,789 el met zeilen, die met de nevengeplaatste borden eene gemiddelde breedte van 2,351 el hadden, zoo hebben wij ter berekening van de hoeken α_0 en α_1 bij de einden der zeilen uit de formulen van § 57, $v = 10$, $\varphi = 1{,}5743$, $r_0 = 2{,}595$ en $r_1 = 13{,}384$, waardoor men vindt $\alpha_0 = 24° 54'$ en $\alpha_1 = 8° 36'$.

De waarde van α_0 komt nog al vrij wel overeen met de opgaven van § 48, doch die van α_1 geenszins; door dan de berekening te maken als of de zeilen de voordeeligste gedaante hadden door de formulen (*a*), § 54, aangewezen, wordt de arbeid van den wind grooter genomen dan hij werkelijk kan geweest zijn; indien namelijk de hier aangenomen wet omtrent de werking van den wind op de zeilen juist is.

Met deze waarden van α_0 en α_1 en $\delta = 1{,}3$ vindt men uit (2) van § 57, voor den arbeid der vier wieken 1334, hetgeen alzoo minder is dan de molen heeft geleverd. Dewijl nu, behalve het opbrengen van het water, aan dit water zelf eene snelheid moest worden medegedeeld, waartoe ook arbeid noodig was, en daarenboven de wrijving der verschillende deelen van het raderwerk moest overwonnen worden, alsmede eenige botsingen van het water, zoo is voorzeker de arbeid van den wind bij die proef aanmerkelijk grooter geweest dan de hier berekende. Stelt men, dat aan het water de snelheid van het middelpunt der ingedompelde schoepen van het scheprad werd medegedeeld, dan vindt men nog omtrent een' arbeid van 174 tot die mededeeling, zoodat de voortgebragte arbeid zou geweest zijn 1567. Dit verschil met den berekenden arbeid, zou enkel uit de onzekere waarde van de snelheid des winds afgeleid kunnen worden: want stelt men $v = 11$ el, en latende de hoeken α_0 en α_1 onveranderd, dan vindt men eenen arbeid van 1954, hetwelk reeds merkelijk den voortgebragten arbeid overtreft. Het kan echter ook wezen dat de gedaante der zeilen voordeeliger is dan de gedaante die wij hier berekend hebben; en dit laatste is waarschijnlijker dan eene vermeerdering van de snelheid van den wind; daar volgens de medegedeelde tafel de snelheid van 10 el reeds tot de sterke

winden behoort. Hetgeen wij later in de derde Afdeeling bij de beschouwing der zaagmolens zullen bijbrengen, bevestigt het gevoelen dat de werking van den wind op de zeilen merkelijk meer bedraagt dan de berekening aanwijst.

Latere naauwkeurige proeven van Prechtl (1) hebben werkelijk aangetoond, dat in plaats van (zooals in § 53) anderhalf maal de valhoogte van de snelheid te nemen, men daarvoor gemiddeld 3,7935 maal die hoogte kan stellen. De snelheden bij deze proeven waren begrepen tusschen 2,8377 en 10,9463 Weener voeten. Mag men dus ook voor grootere snelheden dienzelfden coëfficient gebruiken, dan zou de hier berekende arbeid vermeerderen in reden van 1 : 2,529, en alzoo ruim den nuttigen arbeid overtreffen. Bij de proeven van Prechtl draaide het vlak om één zijner zijden en had dus niet in al zijne punten dezelfde snelheid. Bij proeven van Woltman (2), daarentegen, alwaar deze zwarigheid ontweken was, en de snelheden ongeveer van 2,86 tot 10 el beliepen, bedroeg de coëfficient der valhoogten slechts omtrent 1,218, en dus nog minder dan bij de Borda'sche proeven.

§ 60. Dewijl de proeven in het groot, wegens het gemis van eene naauwkeurige bepaling van de windsnelheid, niet wel tot eene juiste beoordeeling van de beste gedaante der zeilen te gebruiken zijn, zullen wij toevlugt nemen tot de meer in het klein door Smeaton (3) genomene. Bij die proeven was eene kleine molenas met wieken van 21 engelsche duimen lengte, geplaatst op het einde eener horizontale staaf, die met haar ander einde op eene verticale as was bevestigd. Deze as met eene gegevene snelheid ronddraaijende, werden de wieken tegen de stilstaande lucht gedreven, en kon men uit die snelheid en uit de lengte van de staaf, de snelheid van het middelpunt der wieken of van de molenas opmaken; en daar het onverschillig is, of de lucht in rust en de molenas tegen de lucht bewogen wordt, of dat het omgekeerde plaats hebbe, zoo was dan ook de snelheid bekend, waarmede men rekenen kan dat de lucht tegen de molenas en dus tegen de wieken van den stilstaanden molen zou gewerkt hebben. Verder was aan de molenas een dunne koord bevestigd

(1) Gehler, *Physikalisches Wörterbuch*, X, p. 1851.
(2) Ibid X, p. 2069.
(3) Zie *Tracts on hydraulics, edited bij* Tredgold, p. 32.

die bij het ronddraaijen een bepaald gewigt opligtte. Uit dit ge
wigt en uit de hoogte waarop het gebragt werd, bij een zeke
getal omwentelingen van de molenas, kon men den arbeid op
maken door de lucht voortgebragt. De zeilen, 10 engelsche duime
breed, werden onder verschillende hoeken gesteld; en door telke
het gewigt te veranderen, gezocht bij welk gewigt en dus bij well
hoeksnelheid der wieken, de arbeid een maximum werd.

Bij een dezer proeven werden de zeilen gesteld volgens de ho
ken uit de formule van Maclaurin of van de formule (*a*), § 5
de hoeksnelheid was zoodanig genomen dat die van het midde
der wieken gelijk was aan de snelheid van den wind en daarn
waren de hoeken voor de overige punten der zeilen berekend;
grootste arbeid in 52 seconden voortgebragt was 462. De hoek
α werden toen allen met drie graden vermeerderd, de arbeid we
518, en daarop de hoeken nogmaals met drie graden vergrooten
werd de arbeid 527; al dadelijk een bewijs dat de Maclaurinsc
formule niet de voordeeligste gedaante oplevert; hoewel bij n
al merkelijke afwijkingen het verschil niet zeer groot is.
zeilen echter op de Hollandsche wijze, of zooals in § 48 is aa
gewezen, stellende, klom de arbeid tot op 639, zijnde bij
deze proeven de snelheid van den wind zes engelsche voeten
1,829 el in de seconde.

§ 61. Mag men nu uit de proeven in het klein en bij gerin
snelheden, tot de uitwerking in het groot besluiten, dan z
hieruit werkelijk blijken, dat de hier te lande gebruikelijke wij
van het stellen der hekken, de voorkeur boven die der berek
ning verdient. Hiertoe kan men des te gereeder besluiten,
men de onvolkomenheid in aanmerking neemt der tot nu toe b
kende formulen tot het berekenen der botsing van de lucht teg
bepaalde oppervlakken. Ook schijnt de uitkomst der hiervo
berekende proef met den schepradmolen, het denkbeeld te bev
tigen van de voorkeur der bij ons gebruikelijke stelling der h
ken, boven die uit theoretische beschouwingen afgeleid.

Het zou dan onnutte moeite zijn uit dezelfde theoretische g
den de voordeeligste hoeksnelheid te willen afleiden, waarbij
gegeven windsnelheid den grootsten arbeid voortbrengt; m
hier almede tot waarnemingen moeten overgaan, die toe nue
althans voor de molens hier te lande in gebruik, bijna g
ontbreken. Er zijn alleen proeven genomen met watermer

doch daarbij werd de snelheid van den wind niet dan op eene gebrekkige wijze met den windmeter van Poleni waargenomen; men kan daaruit volstrekt niets opmaken over de voordeeligste betrekking tusschen de snelheid van den wind en die van de wieken.

§ 62. De molenas *CD* (Fig. 9) en de wieken worden bij groote molens met de geheele kap van den molen rondgedraaid; de kap is daartoe op rollen gesteld, loopende in een zoogenaamden rolring *AB*, op het vaste gedeelte of den romp van den molen aangebragt. De beweging geschiedt door te werken op eenen staart *E*, achter tegenover de wieken aan de kap verbonden; de staart reikt tot beneden op den grond, wanneer, zooals bij watermolens, de wieken zelve tot nabij den grond komen, en anders tot op de zoogenaamde *zwichtstelling*, zijnde eene gaanderij rondom den molen, ter hoogte van het ondereind der wieken. Onder aan den staart is een kleine windas aangebragt, waarom een touw is geslagen met een van zijne einden verbonden aan palen, rondom den molen gesteld. Door het draaijen van het windas brengt men de kap met de molenwieken *op den wind*. In Fig. 65 is zulk een staart afgebeeld.

§ 63. Om den molen te doen stilstaan, is om het bovenwiel *GH* (Fig. 9) een vang aangebragt, gevormd uit eenige gebogen stukken zacht hout, veelal wilgen, die den buitenomtrek van het bovenwiel als een hoepel omvatten. Het eene eind van den vang is in de molenkap aan den zoogenaamden vangbalk verbonden, het ander eind is vastgemaakt aan eenen hefboom *LM*, die, door zijn eigen gewigt nedergedrukt, den vang om het bovenwiel doet klemmen, even als een touw om eenen cilinder of rol geslagen. Om die klemming weg te nemen, werkt op den hefboom *LM* nog een tweede *PQ*, wiens uiteinde achter uit de molenkap steekt; aan dit einde is een touw vastgemaakt, waaraan door den molenaar getrokken wordt wanneer hij het bovenwiel vrij wil maken of den vang ligten; terwijl binnen in den molen een ijzeren haak is aangebragt, om den vang in dien toestand vast te zetten. Door den hefboom *LM* bij *M* met gewigten te bezwaren, kan men den vang sterk om het bovenwiel doen klemmen; de wrijving hierdoor veroorzaakt vertraagt de molenas en doet in weinige oogenblikken de beweging geheel ophouden. Evenwel moet men zorgen dat de aanzienlijke warmte

die de wrijving van den vang ontwikkelt, niet gevaarlijk word
In de tweede Afdeeling zullen wij de werking van den vang na
der beschouwen.

§ 64. De Figuur 9 stelt eene molenkap met zijne as en z
voor, zooals die thans bij de groote watermolens gebruikelijk zijn
De molenas rust vóór op den zoogenaamden steenen windpeluw
en wordt van achteren bij *F* gesteund, omdat de werking va
den wind op de zeilen de as achteruit dringt. De wrijving hier-
door veroorzaakt, moet hij de beoordeeling der werking van de
wind in rekening komen. In lateren tijd zijn ijzeren molenasse
meer en meer in gebruik gekomen; zij zijn duurzamer en ver-
oorzaken minder wrijving.

Voor kleine windmolens heeft een Fransch Ingenieur, A. Durand (1)
een zeer eenvoudig zamenstel bedacht, bestaande uit zes wieken
die zich door de werking van den wind zelven, in de behoorlijk
rigting stellen, en door eene eenvoudige, zeer vernuftige inrigting
zeil minderen, naar gelang de windsterkte toeneemt, zoodat d
snelheid der wieken nooit gevaarlijk kan worden. Eene tienjarig
ondervinding heeft de bruikbaarheid van dezen toestel bevestigd

d.) GEBRUIK VAN HET WATER.

§ 65. Wanneer water van een hooger naar een lager gelege
punt wegvloeit kan het arbeid voortbrengen, en alzoo gebruik
worden om werktuigen te bewegen.

Meestal wordt tot het opnemen van dezen arbeid een zooge-
naamd waterrad gebruikt; zijnde een verticaal gesteld rad aa
welks omtrek borden of schoepen zijn verbonden (Fig. 10). Zull
een rad, besloten tusschen twee evenwijdige wanden, ontvang
het water door eene opening of schut *A* op zijne schoepen. He
water tegen de schoepen stootende, doet het rad ronddraaijen, e
beweegt daardoor verder de overige deelen van het werktuig.

Komt het water boven op het rad, zooals in Fig. 11, da
noemt men het een *bovenslagrad*; komt het water tegen de onderst
schoepen, dan is het een *onderslagrad*, en wanneer het op eeni
gedeelte tusschen het boven- en onderste gedeelte op het rad komt
wordt het een *middelslagrad* genoemd.

(1). *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* 1842, 1r Semestr
p. 422.

Behalve deze soorten die het meest in gebruik zijn, heeft men nog vele andere inrigtingen bedacht om van de kracht des waters gebruik te maken; wij zullen er eene enkele doen kennen.

§ 66. Bij het berekenen van den arbeid des waters tot het bewegen van werktuigen, kan de grondformule der levende krachten, in § 215 der Dynamica bewezen, met vrucht worden toegepast. Deze formule is algemeen:

$$\Sigma \int P\partial s - \Sigma \int P'\partial s' = \Sigma \cdot \frac{m}{2g}(v_1^2 - v_0^2);$$

waarin $\Sigma \int P\partial s$ de som voorstelt van het product uit elk der krachten die het werktuig aandoen, met haren weg gedurende de beweging in de rigting der kracht afgelegd, voor zoover die krachten in de rigting der kracht zelve bewegen; terwijl de term $\Sigma \int P'\partial s'$ al de producten bevat alwaar de weg de tegengestelde rigting der kracht heeft; het integraalteeken wijst de som aan der producten van $P\partial s$ en $P'\partial s'$, gedurende het tijdperk waarin men de beweging beschouwt. Verder is v_1 de snelheid van eenig punt welks massa m is, op het eind van het tijdperk der beweging, en v_0 de snelheid van datzelfde punt bij den aanvang van het tijdperk. De som $\Sigma \cdot \frac{m}{2g}(v_1^2 - v_0^2)$ moet uitgestrekt worden tot al de stofdeelen die door het werktuig in beweging komen.

§ 67. Om het grondbeginsel der levende krachten op de beweging der waterraderen te kunnen toepassen, beschouwen wij zulk een tijdperk der beweging alwaar het rad, door vroeger afgevloeid water in beweging gebragt, eene eenparige snelheid, of liever zulk eene afwisseling van vertraging en versnelling verkregen heeft, waarmede het onbepaald kan voortwerken zoo lang de watermassa blijft afvloeijen. Gedurende deze beweging kan men een tijdperk nemen, bij welks begin en einde de snelheid van het rad, en dus ook van al de daarmede verbonden deelen des werktuigs, dezelfde is; alsdan is de term $\Sigma \cdot \frac{m}{2g}(v_1^2 - v_0^2) = 0$, voor zoover men die op de deelen van het werktuig uitstrekt; wij kunnen dus die deelen buiten rekening laten.

Wij hebben dan nu nog de waarde te berekenen van de overige termen die in de vergelijking der voorgaande § voorkomen.

Laat M het gewigt van het afgevloeide water zijn
het hiervoren aangewezen tijdperk, en h het verschil
tusschen het *boven-* en *benedenwater*, of het zoogenaan
De watermassa M kan men aannemen als een gewigt
van den boven-waterspiegel naar den beneden-waterspi
toch, welken weg de waterdeelen bij het afvloeijen ook d
hun weg in de rigting der kracht gelijk is aan de h
het verval, mits men aanneme dat gedurende de afvloeij
de boven-waterspiegel, noch de benedenste van hoog
derd zijn; de arbeid van het water is dan Mh. Gedurer
vloeijen van het gewigt M zullen de waterdeelen wa
bestaat, zeer verschillende snelheden aangenomen hebb
bij het begin en het einde van het hier beschouwde
zijn evenwel de snelheden der waterdeelen, die op
oogenblikken dezelfde plaats op of tusschen de schoepen
dezelfde. Een zekere massa water m, die bij het
het tijdperk der beweging eene snelheid v_0 bezit, ver
op het eind van het tijdperk eene snelheid v_1, maar
alwaar het deze snelheid bezit, werd, in den aanvan
tijdperk, ingenomen door eene even zware massa, di
snelheid v_1 bezat; derhalve zullen dan bij het opn
waarden van $\frac{m}{2g}(v_1^2 - v_0^2)$, de waarden mv_0^2 en mv_1^2, v
zij betrekking hebben tot de waterdeelen op het rad,
vernietigen.

Doch de waterdeelen die gedurende het beschouwde ti
rad verlaten hebben, bezitten in het algemeen eenige
die zij gedurende hunne werking op het rad behoude
kregen hebben, terwijl zij te voren, eer zij door de sch
op het rad werkten, geene snelheid bezaten. Voor die d
dan de waarde van $\Sigma . \frac{m}{2g}(v_1^2 - v_0^2)$ nog berekend wo
snelheid te bepalen van elk der waterdeelen bij het ve
het rad, zou in het algemeen onoverkoomlijke zwarighe
veren; men tracht daarom slechts de middelbare snelhe
water bij het verlaten van het rad te vinden, en zoo d
v_1 is, neemt men aan, dat de middelbare snelheid nie
wijkt van de wezenlijke snelheid der waterdeelen, en

$$\Sigma . \frac{m}{2g} v_1^2 = \frac{M}{2g} v_1^2.$$

dat de waterdeelen op het rad werken, kan men stilstaande beschouwen, en alzoo $\Sigma . \frac{m}{2g} v_0^2 = 0$ stellen.

n eindelijk PH de arbeid door de werking van de water- op het rad voortgebragt, dat is: heeft het rad gedurende perk eenen wederstand P over den weg H overwonnen, men stellen $\Sigma f P' \partial s' = PH$, en hebben wij eindelijk uit elijking van § 66:

$$Mh - PH = \frac{M}{2g} v_1^2 . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

De vergelijking (α) der vorige § geldt alleen indien er tsingen noch wederstanden tusschen de waterdeelen zelve , hetgeen echter niet altijd het geval is. In de eerste lijden de waterdeelen bij de beweging in het rad over heen, en soms met vrij aanzienlijke snelheid; alsdan le wrijving of aankleving der deelen gedurig verbroken, zekere tegenstand over zekeren weg gedurig overwon- t als voortgebragte arbeid moet in rekening komen. Even- ben wij in de Hydrodynamica gezien, dat die aankleving elijking der gewone krachten zeer klein is, en daar het ven niet wel mogelijk schijnt de waarde van den hier- loren arbeid te berekenen, laat men haren invloed buiten .

tweede plaats hebben er bijna altijd botsingen van de len op het rad plaats, wier invloed wij nu nog zullen na te gaan. Wanneer twee onveerkrachtige massa's M net de snelheden C en C' aangedaan, elkander botsen, dan ij het verlies aan arbeid (Dynamica § 223):

$$\frac{MM'(C - C')^2}{2g(M + M')}.$$

C de snelheid en M de massa van het botsende water, nelheid en M' de massa van het waterrad, dan zal de ide formule het verlies aan arbeid bij de botsing voor-

e differentiaal van den tijd botst er slechts eene zeer kleine ssa m, waarbij de massa M' van het rad als oneindig te beschouwen; derhalve zal men de massa m der gelijk- otsende waterdeelen in den tijd ∂t als oneindig klein in

vergelijking der massa van het rad mogen stellen, zoodat het verlies aan arbeid door de botsing in den tijd δt, voorgesteld zal worden door:

$$\frac{m(C-C')^2}{2g}.$$

Gedurende het uitvloeijen der massa M is dan het verlies:

$$\Sigma . \frac{m}{2g}(C-C')^2, \text{ of } \frac{M}{2g}(C-C')^2,$$

indien al de waterdeelen tot de botsing medewerken en de snelheden niet veel van de middelbare snelheid afwijken; in deze formule is $C-C'$ de betrekkelijke snelheid in de rigting der botsing. Naar aanleiding van dit alles wordt dan de formule (= van § 67:

$$Mh - PH - \frac{M}{2g}(C-C')^2 = \frac{M}{2g} v_1^2 \quad . \quad . \quad . \quad (\beta)$$

die wij kunnen gebruiken ter berekening van den arbeid bij verschillende soorten van waterraderen.

1. *Onderslagraderen.*

§ 69. Bij het onderslagrad, in Fig. 10 voorgesteld, stroomt het water uit de opening A en stoot tegen de schoepen a, a enz. van het rad in bijna loodregte rigting. Is dan V de snelheid van uitstrooming in de opening A, v die van het rad, dan is ook v de snelheid van het water bij het verlaten van het rad, terwijl de betrekkelijke snelheid, waarmede het water op de schoepen stoot, $V-v$ is. Diensvolgens geeft de formule (β) van § 68:

$$Mh - PH - \frac{M}{2g}(V-v)^2 = \frac{M}{2g} v^2;$$

waaruit men vindt voor den arbeid van het rad:

$$PH = M\left\{h - \frac{(V-v)^2+v^2}{2g}\right\} = M\left\{h - \frac{V^2-2vV+2v^2}{2g}\right\} \quad (a).$$

Indien het water in de schutopening A geen' tegenstand wegens de zamentrekking van den waterstraal ondervond, dan zou

de snelheid V behooren tot de valhoogte h, of $2gh = V^2$ zijn, en derhalve de formule (a) overgaan in:

$$PH = \frac{M}{g}(V-v)v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b);$$

komt echter de zamentrekking in rekening, dan is dit hetzelfde als of de hoogte h eenige vermindering onderging, zoodat deze verminderde hoogte tot de snelheid V behoort. Men kan alsdan nog wel de formule (b) gebruiken, doch de snelheid V wordt dan bepaald uit de formule $V = n\sqrt{2gh}$, waarin n de coëfficient der zamentrekking voorstelt. Het is evenwel gepaster de formule (a) te gebruiken, omdat h het verschil van den boven- en den benedenwaterspiegel voorstelt, terwijl de drukhoogte op de opening altijd iets geringer is, doordien men onder het rad eenige ruimte noodig heeft tot gereede afvoering van het wegvloeijend water. Wij zullen daarom in het vervolg de snelheid V van het invloeijend water, zoowel als de hoogte h, als gegeven beschouwen.

§ 70. De formulen (a) en (b) der voorgaande § geven een maximum voor PH, als $v = \frac{1}{2}V$ is; men verkrijgt alzoo den meesten arbeid bij het onderslagrad, wanneer de snelheid van het rad de helft bedraagt van die des instroomenden waterstraals. De snelheid van het rad moet gemeten worden in het punt alwaar het midden van den waterstraal op den schoep treft, of zoo men wil, in het punt alwaar de waterdeelen de gemiddelde snelheid V bezitten.

Voor $v = \frac{1}{2}V$ wordt (b):

$$PH = \frac{M}{4g}V^2 = \frac{Mn^2h}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c).$$

Was er geene zamentrekking bij het uitvloeijen, of werd het rad getroffen met de snelheid V, behoorende tot de valhoogte h, dan was

$$PH = \tfrac{1}{2}Mh \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d);$$

terwijl, als er volstrekt geen tegenstanden of botsingen van welken aard ook plaats hadden, en daarenboven het water bij het verlaten van het rad volstrekt geen snelheid meer bezat, de geleverde arbeid zijn zou $PH = Mh$ (formule (α), § 67). Deze laatste hoeveelheid noemt men het *volstrekte maximum*, dewijl het onmogelijk is meerder arbeid te trekken uit de massa M, van de hoogte h vallende. Het onderslagrad kan dan, blijkens de formule (d),

wanneer de snelheid op het voordeeligst bepaald wordt, slechts de helft van den arbeid *PH* of van den volstreksten arbeid leveren.

In de werkelijkheid is dit verlies nog grooter, omdat er nog inwendige botsingen en aanklevingen ontstaan die verlies aan arbeid veroorzaken, terwijl er daarentegen, wegens de onvolkomen sluiting van het rad in den waterloop, altijd eenig water wegvloeit zonder het rad te treffen. Waarnemingen op bestaande waterraderen hebben doen zien, dat men meestal slechts 0,3 en zelfs soms slechts 0,2 van den volstrekten arbeid verkrijgt.

§ 71. Naar aanleiding der proeven van Bossut en Smeaton zal als Q de hoeveelheid cubiek ellen uitgevloeid water voorstelt en men de el als eenheid gebruikt, de geleverde arbeid zijn:

$$PH = 61Q(V - v)v;$$

waarin V de snelheid van het water in de opening en v die van het rad voorstelt. Hierbij moet evenwel het rad vrij naauwkeurig in den waterloop sluiten en althans niet meer dan eene speling van 3 à 4 duim bezitten. Ten einde het water met de grootst mogelijke snelheid op het rad te brengen, wordt de schutopening zoo digt mogelijk tegen het rad geplaatst en daartoe in eene hellende rigting gesteld. Overigens leeren de waarnemingen, dat de snelheid van het rad, om den meesten arbeid te leveren, ie minder dan de helft der snelheid van het instroomend water moet bedragen.

§ 72. De heer Poncelet heeft getracht, door eene verbeterde inrigting van het onderslagrad, het zoo aanzienlijk verlies van arbeid bij deze raderen te vermijden, en is daarin werkelijk zeer gelukkig geslaagd door het gebruiken der navolgende inrigting.

De schoepen *ab* (Fig. 12ª) zijn volgens cirkelbogen gekromd zooals de figuur aanwijst; daarbij is de hoek, waaronder het buitenend der schoepen den omtrek van het rad doorsnijdt, zóó geregeld, dat de waterstraal bij het instroomen niet op den schoep stoot, maar er rakelings langs heenglijdt. Is bijv. *BF* (Fig. 12ª) de rigting en grootte der snelheid van het instroomend water, *BC* de rigting en grootte der snelheid van het einde des schoeps en *BD* de raaklijn aan het einde van den schoep, of van het punt alwaar de waterstraal treft, dan kan men de snelheid *BF* ontbinden in de rigtingen *BD* en *BC*. De snelheid volgens *BC* doet niets tot de botsing; indien derhalve de snelheid volgens *BD*

gelijk is aan die van het rad, dan zal het water den schoep volgen en daar met de snelheid *BD* langs opklimmen, zonder eenige botsing te ondergaan. De grootte van *BC*, door de snelheid van het rad en die van *BF* door de snelheid van den waterstraal gegeven zijnde, zoo heeft men slechts *BD* evenwijdig aan *CF* te trekken, om de rigting te vinden van den schoep, in het punt alwaar hij door den waterstraal getroffen wordt.

Het water op den schoep gekomen, zal daar langs bewegen tot dat zijne snelheid is uitgeput, en derhalve, zoo er geen tegenstand langs den schoep bestaat, daarop eene hoogte bereiken gelijk aan de valhoogte, behoorende bij de snelheid *BD*. Is nu de schoep lang genoeg om die beweging toe te laten, zonder dat het water aan het einde van den schoep gekomen daarover heenstort, dan zal het water zonder botsing terugvloeijen en aan den buitenomtrek gekomen, het rad verlaten. Aldaar zal het dan weder dezelfde snelheid bezitten als bij den aanvang, doch in tegengestelde rigting. Was nu die snelheid langs den schoep gelijk aan die van het rad, en gerigt volgens de raaklijn aan den omtrek, dan zou de werkelijke snelheid van het water gelijk nul zijn. De rigting van die snelheid kan echter nimmer die van de raaklijn aan den omtrek zijn, daar het water den schoep verlaat in de rigting *DB*, en zal dus nooit op dat oogenblik volstrekt zonder snelheid zijn; doch indien men die snelheid volgens de raaklijn aan den omtrek en loodregt daarop ontbindt, dan blijkt het dat het verlies aan arbeid niet groot zal zijn, zoo laatstgenoemde snelheid niet groot, en eerstgenoemde gelijk en tegengesteld is aan die van het rad. Op dit verlies na, zou, ingevolge het ontwikkelde in § 69, de verkregen arbeid gelijk zijn aan het volstrekte maximum.

Deze volmaakte gelijkheid heeft in de werkelijkheid nooit volkomen plaats; omdat, behalve de wederstand door de aanklevingen de inwendige botsingen voortgebragt, het niet mogelijk is aan de hier aangewezen voorwaarden volkomen te voldoen. In de eerste plaats heeft de waterstraal eene zekere dikte, en is dus de snelheid van al de waterdeelen, bij het invallen op het rad, niet overal dezelfde; derhalve kan de hoek, waaronder de schoepen op den buitenomtrek moeten staan, voor al die waterdeelen niet aan het zoo even aangewezen vereischte voldoen. Bij het verlaten van het rad, hebben in de tweede plaats, de afstroomende waterdeelen mede niet

daar boven. Men maakt aan raderen van 3 à 4 el middell minder dan 36 schoepen, en ten minste 48 aan rader 6 à 7 el middellijn. De breedte van het waterrad is ie dan de breedte der schutopening, om geen water te verlie

§ 76. Later zijn door den heer Morin nog meer proev de raderen van Poncelet genomen, om de daarin door he gebragte verbeteringen te onderzoeken. Die verbetering hoofdzakelijk : dat de *krimp* of de bodem van den waterl het gedeelte nabij het rad, niet regtlijnig, maar volgens gebogen wordt, waardoor het water met veel minder dw beweging op de schoepen komt, en niet zoo ligt over de pen heen stort, als het rad langzamer beweegt dan v maximum van werking vereischt wordt. Verder wordt de tusschen de schoepen gelijk genomen aan ongeveer tweem volume water dat elke schoep ontvangt; de breedte van de of de lengte der schoepen langs den straal van het rad ge wordt op 0,75 der valhoogte gebragt. Eindelijk wordt zeer ruimte gelaten tusschen den bodem van den waterloop en den kant van het rad voor het afvloeijen van den waterstraal, en de waterloop aldaar verbreed.

Bij die verbeterde inrigting kan het rad nog voordeelig v al wijkt men iets van de snelheid af die het maximum va king geeft, en al staat de onderkant van het rad ged in het benedenwater. Het maximum van den arbeid d verbeterde rad verkregen, is geweest 0,60 à 0,62 van den arbeid. Bij deze proeven is die totale arbeid naauwkeuri gegaan dan bij de vroegere proeven; van daar dat de coëff 0,60 en 0,62 niet grooter zijn (2).

2. *Middelslagraderen.*

§ 77. Bij de middelslagraderen stoot het water met l snelheid tegen de schoepen dan bij de onderslagraderen, de drukhoogte minder is; er zal dus minder arbeid bij de verloren gaan.

Zij V de snelheid van den instroomenden waterstraal, v het rad, α de hoek van den waterstraal met de raaklijn aan

(1) Meer bijzonderheden kan men vinden in Poncelet, *Mémoire sur hydrauliques à aubes courbes*. *Metz* 1827.

(2) *Comptes rendus*. *Avril* 1846, p. 580

trek van het rad, op het punt alwaar de straal den omtrek treft, en de schoep loodregt op de raaklijn komt; dan zal men de snelheid V kunnen ontbinden in de snelheid $V\cos\alpha$ loodregt op den schoep, en in $V\sin\alpha$ langs den schoep. De loodregte botsing heeft plaats met de snelheid $V\cos\alpha$; diensvolgens hebben wij ter toepassing van de formule (β) § 68, $C'-C=V\cos\alpha-v$. Bij het verlaten van het rad bezit het water de snelheid v loodregt op den schoep, en de snelheid $V\sin\alpha$ in de rigting van den schoep; alzoo is de snelheid bij het verlaten $\sqrt{(v^2+V^2\sin^2\alpha)}$. De formule ($\beta$) § 68, wordt dan:

$$PH = Mh - \frac{M}{2g}(V\cos\alpha - v)^2 - \frac{M}{2g}(v^2+V^2\sin^2\alpha)$$

$$= Mh - \frac{M}{2g}(V^2 - 2vV\cos\alpha + 2v^2).$$

De hoogte h bestaat uit twee hoogten h' en h''; h' is de hoogte van het midden der schutopening boven het benedenpeil, en h'' de hoogte van het midden der opening beneden het bovenpeil; het is deze laatste hoogte die de snelheid V voortbrengt. Men kan dus voor h stellen $\frac{V^2}{2g}+h'$, en alsdan is de arbeid:

$$PH = M\left\{h' + \frac{(V\cos\alpha - v)v}{g}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Deze arbeid wordt wederom een maximum voor $v=\frac{1}{2}V\cos\alpha$, en is alsdan:

$$PH = M\left(h' + \frac{V^2\cos\alpha^2}{4g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

§ 78. Er is in het algemeen eenig voordeel in de middelslagraderen boven de onderslagraderen, in zooverre als de snelheid van den instroomenden waterstraal kleiner is dan bij de onderslagraderen, en er alzoo bij de botsingen en wrijvingen minder verloren gaat. Volgens de beste waarnemingen (1) bedraagt de arbeid nagenoeg 0,75 van den arbeid van het afvloeijend water, zoodat men kan stellen:

$$PH = 0{,}75M\left(h' + \frac{(V\cos\alpha - v)v}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

(1) Morin, *Expériences sur les roues hydrauliques*. Metz 1836.

verbonden platte vlakken *ab*, *bc*, zooals in de figuur is aangewezen. Het water wordt van boven door eene opening toegelaten, gevende den waterstraal zooveel mogelijk de vereischte rigting om de cellen zonder botsing te vullen. De afstand der schoepen en de ruimte der cellen dienen zoodanig geregeld te worden, dat het instroomend water zonder verlies kan worden opgenomen en de cellen dus niet overloopen. Men maakt den inhoud tusschen twee achtereenvolgende schoepen groot genoeg, om 2 à 3 maal de hoeveelheid water te kunnen bevatten door de schutopening A stroomende, in den tijd waarin die inhoud of de afstand van twee schoepen voorbij de opening beweegt. Bij het rondraaijen ledigen zich de cellen gaande weg; hoe later dit plaats hebbe, mits niet later dan wanneer de cel haren laagsten stand verkregen heeft, des te voordeeliger is het, dewijl het vroeger uitstortend water blijkbaar een gedeelte arbeid doet verloren gaan. Om het water langer op het rad te houden, zijn de schoepen uit twee stukken gevormd; meestal is het gedeelte *ab* loodregt op den omtrek, terwijl volgens D'AUBUISSON (1) de cellen het best als volgt worden verdeeld: men neemt *ab* gelijk aan een derde gedeelte der breedte *ag*, dat gewoonlijk 25 à 30 duim bedraagt, deze zelfde maat neemt men voor den afstand *af* der schoepen, terwijl het einde *c* in het verlengde van *ef* valt.

Door de raderen langs eenen zoogenaamden mantel *DEF* te doen bewegen, wordt het water beter behouden en de arbeid vermeerderd.

§ 80. Men kan ook hier met voordeel gebruik maken van ijzeren gebogen schoepen; de botsingen worden blijkbaar minder.

Hoewel de botsingen en wrijvingen bij deze raderen in geen geval geheel kunnen weggenomen worden, zijn zij echter veel geringer dan bij de middel- of onderslagraderen, omdat de snelheid zoo van het rad als van het water veel geringer is.

Bij het verlaten van het rad heeft het water de snelheid van het rad zelf, en zoo men in 't geheel geen botsing bij de instrooming aanneemt, dan is in de formule (β) van § 68, $C' - C = 0$ en $v_1 = v$, alzoo:

$$PH = Mh - \frac{M}{2g} v^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

(1) *Traité d'Hydraulique*, p. 321.

Hoe kleiner dus de snelheid van het rad is, des te voordeeliger

Stroomt echter het water onder de werking van eenige drukhoogte op de schoepen en oefent het aldaar eene merkbare botsing uit, dan kan men dezelfde formule, als in § 77 voor de middelslagraderen ontwikkeld is, gebruiken en dus stellen:

$$PH = M\left(h' + \frac{(V\cos\alpha - v)\,v}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

waarin h' de hoogte aanwijst, alwaar de waterstraal den omtrek boven het benedenpeil ontmoet, en V de snelheid van het instroomend water. Zijn nu de schoepen zoodanig ingerigt dat zij slechts tot op de helft gevuld worden en is de middellijn van de raderen tusschen 2 en 9 el begrepen, dan kan men, volgens de waarnemingen van den generaal Morin (1), stellen:

$$PH = 0{,}78M\left(h' + \frac{(V\cos\alpha - v)\,v}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

§ 81. Wanneer, zooals bij sommige bovenslagraderen, de snelheid zeer groot wordt, doordien het water van eene aanmerkelijke hoogte daarop valt, dan gaat er meer water uit de schoepen verloren, omdat de middelpuntvliedende kracht het water meer uit de schoepen werpt, en daarboven de ruimte tusschen de schoepen naar evenredigheid van het instroomend water te klein wordt; er is dan een grooter verlies van arbeid, dat echter door het aanbrengen van eenen mantel (§ 79) gedeeltelijk kan verholpen worden (2).

4. *Schepraderen door eenen niet ingesloten' waterstroom gedreven.*

§ 82. Wanneer een gewoon onderslagrad in een stroomend water wordt gesteld en het rad niet zijdelings door eenen waterloop ingesloten is, dan werkt alleen de botsing van het water op het ronddraaijen der schoepen.

Ofschoon er gelijktijdig meer dan één schoep in het water hangt, zoo is men evenwel gewoon alleen den schoep die verticaal

(1) *Aide-mémoire de mécanique pratique.*

(2) Meer bijzonderheden vindt men in het reeds aangehaalde werk van Morin *Expériences sur les roues hydrauliques.*

in het water staat, te beschouwen alsof deze al den arbeid van het water op het rad ontving; omdat, voor zoover de overige schoepen nog eenigen arbeid ontvangen, zij dan ook even zooveel arbeid aan den verticaal gestelden schoep ontnemen.

Is de snelheid van het stroomend water V, die van het midden van het ingedompeld gedeelte des verticalen schoeps v, dan kan de drukking door de botsing op den schoep voortgebragt, door $nA(V-v)^2$ worden voorgesteld, als A de oppervlakte van het ingedompeld gedeelte des schoeps voorstelt; dewijl $V-v$ de gemiddelde snelheid is waarmede de schoep gestooten wordt, en de wederstand der botsing evenredig aan het vierkant der snelheid mag gesteld worden. (Hydrodynamica, § 125.) Heeft nu die botsing gedurende eene seconde plaats, dan heeft het midden van den schoep ook eene ruimte v doorloopen, en alzoo is dan de voortgebragte arbeid:

$$PH = nA(V-v)^2 v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

In deze formule kan men volgens de waarnemingen $n = 147{,}5$ stellen; als men de el en het pond als eenheid neemt (1).

§ 83. Indien men de botsing van het water berekent door de formulen in de Dynamica (§ 178) daarvoor aangewezen, en alzoo de drukking bij de snelheid $V-v$ behoorende, gelijk stelt aan het gewigt van eene waterkolom, die de dubbele valhoogte tot de snelheid $V-v$ behoorende, tot hoogte heeft, dan zou de coëfficient $n = \frac{1000}{g} = 102$ zijn. De botsing bedraagt dus merkelijk meer dan uit theoretische beschouwingen, in de Dynamica voorgedragen, zoude volgen, en nog veel meer dan men uit de proeven van Beaufoy, in de Hydrodynamica § 124 aangehaald, zoude afleiden. Hoofdzakelijk zal dit zijn toe te schrijven aan de groote oppervlakte A der schoepen, waardoor de waterdeelen, die het midden van den schoep treffen, zeer veel moeten afwijken van hunne oorspronkelijke rigting. Evenwel is de coëfficient 147,5 welligt ook niet volkomen juist, dewijl de arbeid van de raderen waaruit Poncelet (2) die coëfficient heeft afgeleid, niet onmiddellijk op het rad is gemeten.

---

(1) *Aide-mémoire de mécanique pratique*, p. 125.
(2) *Cours de mécanique industrielle. Bruxelles* 1839, p. 522.

§ 84. Volgens de formule (1), § 82, zal de arbeid een maximum wezen als $v = \frac{1}{3}V$ wordt; terwijl, volgens waarnemingen van Christian en Bossut, de voordeeligste snelheid 0,4 V zou wezen. De snelheid $v = \frac{1}{3}V$ geeft een' arbeid:

$$PH = \frac{8}{27} nAV^3;$$

terwijl de eigenlijke gebruikte arbeid is nAV^3, zijnde nAV^2 de uitgeoefende drukking.

5. *Turbines.*

§ 85. Het hier behandelde omtrent de waterraderen, is voldoende om den weg aan te wijzen dien men volgen moet bij het beoordeelen van de werking des waters op de verschillende toestellen, uitgedacht om het water, bij het stroomen van eene hoogere naar eene lagere plaats, tot het verrigten van arbeid te gebruiken. Het water op eenigen toestel werkende, kan men beschouwen als een gewigt dat van een hooger gelegen punt naar een lager daalt, en daardoor arbeid verrigt. Had het water bij het verlaten van den toestel juist de snelheid, behoorende tot de hoogte van waar het gedaald is, dan moest het geheel vrij zijn gevallen, en dus hoegenaamd geen' tegenstand ondervonden hebben. In dat geval kan het water dan volstrekt geen' tegenstand overwonnen en dus geen' arbeid op den toestel verrigt hebben; de geheele arbeid, door het dalen van het water voortgebragt, zou besteed zijn tot het verkrijgen van de snelheid waarmede het wegvloeit.

Heeft daarentegen het water bij het verlaten van den toestel geene snelheid, dan is al zijn arbeid overgebragt op den toestel zelven, en er is daarbij hoegenaamd geen arbeid verloren gegaan, indien bij de werking van het water geene botsingen hebben plaats gehad. Die botsingen kunnen nooit geheel ontweken worden, evenmin als het water den toestel nooit in volkomen rust verlaat; er gaat dus altijd arbeid verloren. Het voordeeligste werktuig zal datgene wezen, waarbij de botsingen zooveel mogelijk zijn ontweken, en de snelheid waarmede het water den toestel verlaat, de geringste is. Het zijn deze twee omstandigheden die men bij het onderzoeken van elken toestel, door water in beweging gebragt, heeft in het oog te houden.

De zoogenaamde *Turbine* van Fournevron, is een merkwaardig

voorbeeld der toepassing van de voorwaarden waaraan elk waterrad zooveel mogelijk dient te voldoen.

De turbine bestaat hoofdzakelijk uit het horizontaal waterrad *ABCD* (Fig. 13[b]), voorzien van gebogen schoepen *Bb* enz., besloten tusschen twee ringen of kransen, waarvan *A'FGC'* (Fig. 13[a]) den ondersten en *HI* den bovensten voorstelt. De schoepen verdeelen dus de ruimte tusschen de kransen in gebogen cellen of buizen, waardoor een waterstraal, die in horizontale rigting volgens *hf*, enz. tusschen twee schoepen instroomt, het rad aan de buitenzijde verlaten kan; wordende het water zijdelings door de schoepen en van boven en beneden door de kransen ingesloten.

Op gelijke hoogte met den ondersten krans is een onbeweeglijk cirkelvlak *fhig* (Fig. 13[a]) aangebragt, waarop eenige gebogen schoepen *fh*, enz. (Fig. 13[b]) zijn geplaatst, van boven door eenen smallen ring *DE* (Fig. 13[a]) vereenigd. Stelt men zich nu de schijf *fhig* als de basis van eenen hollen cilinder voor, wiens binnenruimte met water is aangevuld, dan zal dit water zijdelings tusschen de onbeweeglijke schoepen kunnen ontwijken, en alzoo in horizontale rigting op de schoepen van het waterrad treffen, waarlangs het dan den toestel verlaat. Het water langs de vaste schoepen op de beweeglijke van het waterrad treffende, drukt deze terug, en kan op die wijze het rad en alzoo de as *O* in beweging brengen.

Het water treft hier al de schoepen van het waterrad te gelijk, dewijl het van rondom uit den omtrek *fbge* stroomt; bij evengroot waterverbruik kan dus dit rad met eene veel kleinere middellijn volstaan dan de hiervoren beschouwde verticale raderen, hetgeen in het algemeen voordeelig is. Daarenboven, wanneer dit rad geheel in het water ligt, zooals dikwijls het geval is bij aanwas van water op het benedenpeil, dan ontmoet het weinig wederstand in zijne beweging, terwijl de tegenstand zeer aanzienlijk wordt, als de verticale raderen gedeeltelijk in het benedenwater draaijen.

§ 86. Zal dit rad met het meeste voordeel werken, dan dient het water uit de vaste schoepen zonder botsing op de beweeglijke te treffen, en het rad aan den omtrek met de minst mogelijke snelheid te verlaten.

Zij dan *BA* (Fig. 13[a]) de rigting waarin een zeer dunne waterstraal den vasten schoep *EBN* verlaat, om den bewegenden

schoep AF te treffen, waarbij het rad in de rigting van het pijltje no beweegt; en laat u de snelheid dezer beweging voorstellen, langs den binnenomtrek AA' van het rad gemeten, terwijl V de snelheid langs BA is, dan zal, zoo men de raaklijn AC trekt, $CA = u$, $AD = V$ neemt en het parallelogram $ACDH$ voltooit, de snelheid V ontbonden kunnen worden in de snelheid u volgens AC, en in eene snelheid v langs AH. Is nu AH juist de rigting der raaklijn van den schoep AF in A, dan zal de waterstraal — als bezittende dezelfde snelheid u, volgens AC, als het rad — alleen met de snelheid v langs de raaklijn op den schoep treffen, aldaar geene botsing veroorzaken, en met die snelheid langs AF voortgaan. Was de raaklijn in F aan den schoep ook tevens raaklijn in F aan den buitenomtrek van het rad, dan zou de snelheid v waarmede het water den schoep verlaat, juist tegengesteld zijn aan die van het rad en alzoo, indien beide snelheden gelijk waren, met eene snelheid 0 het rad verlaten. Hiertoe zou dan nagenoeg $v = u$ moeten zijn; wordende door den gebogen vorm van den schoep alleen de snelheid v langs AH van rigting veranderd en in juist tegengestelde rigting van u gebragt. Strikt genomen is eigenlijk de snelheid van den buitenomtrek FK niet gelijk aan die van den binnenomtrek, doch het verschil is te gering om in aanmerking te komen. Dewijl dan voor den voordeeligsten toestand de snelheid $u = v$ moet wezen, zal BAD den hoek CAH in twee gelijke deelen moeten verdeelen; zoodat, hoek $OAB = \alpha$ stellende,

$$V = 2u \sin \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

moet zijn; waaruit de hoek α kan gevonden worden, als V en u gegeven zijn. Deze formule zou eene geringe wijziging ondergaan, indien men het verschil in snelheid van den binnenomtrek AA' en den buitenomtrek FF' in rekening wilde brengen. De snelheid V in (1) is die van het instroomend water, afhangende van de drukhoogte of van het verval tusschen het boven- en benedenpeil; die snelheid moet men alzoo als gegeven beschouwen; en het blijkt uit de formule (1), dat het rad zonder eenig verlies aan arbeid met verschillende snelheid kan werken, mits slechts de hoek α naar behooren bepaald zij. Daar echter de grootste waarde van $\sin \alpha = 1$ is, zoo kan u nooit kleiner dan de helft van V worden. De hoek CAH van de raaklijn aan den

schoep in A met den omtrek, is hier het dubbel van het complement van α.

De raaklijnen in de punten A en F der schoepen zijn alzoo volkomen bepaald, wanneer de betrekking der snelheden van het instroomend water en van het rad gegeven is; de overige gedaante van den schoep is in zooverre onverschillig, als slechts het water den schoep kan volgen en er geen hoeken of kanten voorkomen waardoor botsingen ontstaan. De schoep moet zijne holle zijde naar den waterstraal keeren, en het punt F, alwaar de schoep eindigt, dient zóóver voorbij het punt a te zijn, dat het water den schoep nergens verlate. Indien de waterstraal bijv. van A tot d kan komen, terwijl het punt F in a' komt, dan zal hij den schoep verlaten moeten, omdat de beweging van het rad wel den waterstraal kan vertragen, maar niet versnellen. Is alzoo AA' de weg door den binnenomtrek doorloopen, in den tijd waarin de straal met de snelheid V de lijn Ad doorloopt, en is $A'h'$ de stand der raaklijn Ah, dan zal $h'F' = hF > dh'$ moeten zijn. Aan eene dergelijke voorwaarde moet eveneens voor elk der punten l, l' enz. tusschen A en F gelegen, voldaan worden, opdat het water nergens den schoep verlate. De Ingenieur Fourneyron neemt voor den afstand hF het twee vijfde gedeelte van den boog hK; wordende het punt K bepaald, door de snijding der loodlijn AK op AH, met den buitenomtrek van het rad.

Om den meesten arbeid te verkrijgen moet de raaklijn in F aan den schoep, ook tevens raaklijn aan den buitenomtrek zijn; doch dit heeft in de uitvoering zwarigheid, omdat er alsdan tusschen de achtervolgende schoepen te weinig ruimte blijft ter ontlasting van het water; men heeft daarom verkozen de raaklijn in F een hoek van 10° à 15° met de raaklijn aan den omtrek te doen maken, te meer daar het verlies aan arbeid dan nog niet zeer groot is: want de resultante van de twee gelijke snelheden v langs de raaklijnen FI en FT in F, is $2v \sin \frac{1}{2}\delta$, indien δ den hoek TFI der raaklijnen in F voorstelt. Is er dus in zekeren tijd eene massa water M ontlast, dan is de voortgebragte arbeid $M \cdot \frac{V^2}{2g}$ en de arbeid bij het verlaten van het rad $M \cdot \frac{2v^2 \sin^2 \frac{1}{2}\delta}{g}$, welke hoeveelheden tot elkander staan als:

$$V^2 : 4v^2 \sin^2 \tfrac{1}{2}\delta,$$

of wel, daar wij nog hebben $V = 2u \sin\alpha = 2v \sin\alpha$, $V^2 : \frac{1}{2}v^2 \sin^2\frac{1}{2}\delta = \sin^2\alpha : \sin^2\frac{1}{2}\delta$; het verlies bedraagt dus het $\frac{\sin^2\frac{1}{2}\delta}{\sin^2\alpha}$ gedeelte van den geleverden arbeid; voor $\alpha = 45°$ en $\delta = 15°$ wordt dit nagenoeg 0,034 gedeelte van den totalen arbeid.

§ 87. Naar aanleiding van dit alles construeert de Ingenieur Fourneyron de schoepen als volgt: Trek de normaal AK, maak $hF = 0{,}4\ AK$, trek FKL, alsmede ML loodregt op MK, zoodanig dat het verschil $LK - KM = AK - KF$ zij; trek dan verder door K eenige voerstralen mKl, $m'Kl'$ enz. en maak $mKl = m'Kl' = AM$, dan zullen de punten l, l' enz. den schoep bepalen. Men vindt het punt L door Ff loodregt op KA te stellen, $fP = Kk = KF$ te maken en AL' evenwijdig aan kP te trekken; alsdan is $PL' = KL$.

De afstand der schoepen op den binnenomtrek wordt nagenoeg gelijk aan hunne hoogte genomen, om geen te naauwe openingen aan de waterstralen te geven, waardoor te veel wrijving zoude ontstaan.

De regels voor het bepalen van de rigting AB des invallenden waterstraals en van de raaklijnen bij het begin en einde der bewegende schoepen, gelden eigenlijk alleen voor zeer dunne waterstralen: want zoodra de straal eenige dikte heeft, volgen de overige waterdeelen niet meer den schoep, maar nagenoeg evenwijdige kromme lijnen; zij ontmoeten noch verlaten hem dan onder de vereischte rigting, en daardoor verkrijgt men werkelijk nooit den geheelen arbeid door de berekening aangewezen.

Wegens de wrijving langs de schoepen, maakt men ook niet zooveel vaste schoepen als er bewegende zijn, maar slechts de helft of een derde gedeelte. Hunne gedaante is onverschillig, mits slechts de raaklijn in A de vereischte rigting hebbe. Is dan NO de straal van den vasten cilinder, EO die van de spil, AB de rigting van den invallenden straal, dan maakt men hoek $NOR = NRO$ en trekt uit E de lijn BE evenwijdig aan NO; de cirkelboog BE die in B en E de lijnen RB en RE aanraakt, is dan de loop van den vasten schoep, die verder volgens BN voortgaat.

§ 88. Het water in den vasten cilinder $DfgE$ (Fig. 13ª) door de zijdelingsche openingen langs den omtrek uitvloeijende, verandert zijne verticale snelheid in eene horizontale. Om hier de

botsingen zooveel mogelijk onschadelijk te maken, maakt men de verticale snelheid van het water in den cilinder zeer gering, en neemt daartoe het grondvlak van den cilinder vrij groot. De Ingenieur Fourneyron heeft als regel gegeven, tot de hoogte van den cilinder 0,14 van zijne middellijn te nemen; hierdoor wordt de totale oppervlakte der zijdelingsche openingen, indien men de dikte der schoepen niet medetelt, $0,14\pi d^2$, d de middellijn des cilinders zijnde; alzoo is dan de oppervlakte dezer openingen het $\frac{0,14\pi d^2}{\frac{1}{4}\pi d^2} = 0,56$ gedeelte van het grondvlak des cilinders; de snelheid van het water is dan ook slechts het 0,56 gedeelte van die der uitvloeijing op het rad; en daar het verlies aan snelheid, door de botsingen voortgebragt, evenredig is aan de vierkanten der snelheden, zoo worden hierdoor de verliezen aan de botsingen verbonden, aanzienlijk verminderd.

De breedte $A'F$ van den krans neemt Fourneyron bij groote raderen van meer dan twee el middellijn, gelijk aan het 0,25 à 0,17 der middellijn van den binnensten omtrek, en bij kleinere raderen het 0,30 gedeelte van die middellijn.

De Figuren 13^a en 13^b zijn de doorsnede en platte grond op $\frac{1}{10}$ der grootte van eene turbine door den Ingenieur Fourneyron aangelegd; het rad, de schoepen enz. zijn van ijzer; het water neemt ter hoogte HI de horizontale rigting aan; ten einde geene zamentrekking in de zijdelingsche opening te verkrijgen, zijn afrondingen bij D en E aangebragt, daardoor stroomt het water in de verticale doorsnijdingen tusschen de vaste schoepen als door korte prismatische pijpen, en de snelheid in die doorsnede is dan, volgens § 16 der Hydrodynamica, het 0,8125 van die tot de drukhoogte behoorende.

§ 89. Met dit werktuig zijn proeven genomen door middel van den Pronyschen vang, ten einde den arbeid, door eene bepaalde hoeveelheid water op de as van het rad overgebragt, te kennen. Uit die proeven, alwaar het verval van 1,4 tot 0,9 el veranderde, bleek dat op de as in de voordeeligste gevallen, dáár namelijk alwaar de snelheid van het rad gelijk was aan die waarvoor de schoepen waren ingerigt, er tot 0,88 gedeelte van den arbeid van het water op de as werd overgebragt. Bij sommige van die proeven was het rad 65 duim onder het benedenwater gedompeld,

doch evenwel werd nagenoeg hetzelfde gedeelte van den arbeid des waters op de as overgebragt (1).

Men heeft later zulke turbinen met zeer goed gevolg ingerigt voor een verval van meer dan 100 el. Bij vervallen van 2 el was de geleverde arbeid nog 0,8 van den verbruikten. Om alle misrekening voor te komen, zal men voor de turbinen de geleverde arbeid $PH = 0{,}75\,Mh$ mogen stellen, als M het gewigt van het uitgevloeide water en h het verval aanwijst.

ALGEMEENE AANMERKINGEN OMTRENT DE WATERRADEREN.

§ 90. Naardien de arbeid door het water geleverd, van de hoeveelheid en van de valhoogte, of van het verval afhangt, zoo tracht men beide die grootheden zooveel mogelijk te vermeerderen. Men is echter gewoonlijk bepaald, zoowel in de hoeveelheid water waarover men beschikken kan, als omtrent het totale verval, en men kan alleen trachten elk noodeloos verlies van water te ontwijken. Dewijl de toevoer van water zelden ten allen tijde voldoende is, zoo heeft men bij de molens meestal vijvers, waarin men water bijeenverzamelt, om den molen ten minste eenige uren achtereen te doen bewegen.

Het laagste gedeelte van het waterrad wordt zoo laag mogelijk gesteld, en alleen eene ruimte van 25 à 30 duim tot op het benedenpeil gelaten, om het water eenen vrijen afloop te geven. Bij de turbinen vervalt die afstand geheel.

Is de vijver niet onmiddellijk achter of nabij het rad, dan maakt men het kanaal 't welk het water uit den vijver naar het rad voert, zoo wijd mogelijk, om bij het minste verval genoegzaam water aan te voeren. Zelden is het dwarsprofil van het kanaal minder dan twintigmaal de inhoud der schutopening. Alle beletselen waardoor het water in die opening van zijne snelheid zou kunnen verliezen, of alle aanleiding tot zamentrekking van den waterstraal, worden zooveel mogelijk weggenomen.

Ten einde de waterstraal zoo weinig mogelijk van zijne snelheid zou verliezen, brengt men bij de verticale raderen de schutopening zeer digt bij het rad; en bij de onderslagraderen in eene schuine rigting, rakende bijna aan den buitenomtrek.

(1) Meerdere bijzonderheden hieromtrent vindt men in Dingler's *Polytechnisches Journal*, Deel 53, p. 241, en in den tweeden druk van d'Aubuisson, *Traité d'Hydraulique*.

De bovenslagraderen hebben meestal vervallen tusschen 2,5 en 15 el, en verbruiken van 0,1 tot 1 kub. el water in de seconde, nagenoeg overeenkomende met den arbeid van 3 tot 130 paardenkrachten. Zelden evenwel maakt men bovenslagraderen voor meer dan 80 paardenkrachten, en verdeelt liever de kracht op twee raderen. De snelheid aan den omtrek van het rad behoort tusschen de grenzen van 0,80 tot 1,80 el te blijven (1).

§ 91. Zoodra de arbeid PH dien men door middel van eenig waterrad verkrijgen wil, bekend is, kan men uit de hiervoren ontwikkelde formulen, den arbeid M*h* berekenen dien het water moet leveren. De hoogte *h* of het verval bepaald zijnde, zoo zal men, door die hoogte in den arbeid M*h* te deelen, het gewigt aan water vinden, door het rad in elke seconde ontvangen. Naar aanleiding van die hoeveelheid en van de drukhoogte zal men, met behulp der regels voor de uitstrooming van het water, in de Hydrodynamica ontwikkeld, de grootte der opening kunnen bepalen waaruit het water moet stroomen.

Uit de snelheid van het uitstroomend water zal verder de voordeeligste snelheid van het waterrad blijken; eveneens, uit den aard van den verlangden arbeid, de voordeeligste snelheid van het aangrijpingspunt; door nu de as van het waterrad op eene geschikte wijze, voornamelijk door het tusschenvoegen van raderwerk, te verbinden met het punt alwaar de arbeid verrigt wordt, zal men, bij de voordeeligste snelheid van het waterrad, de verlangde snelheid aan het aangrijpingspunt van den arbeid kunnen geven, en op die wijze de hoofdtrekken van het geheele werktuig kunnen regelen.

Is, omgekeerd, de zamenstelling van het werktuig gegeven, alsmede het verval en de hoeveelheid uitstroomend water, dan is de arbeid M*h* door het water geleverd, bekend, en kan men daaruit de hoeveelheid arbeid PH afleiden die het werktuig kan verrigten.

De snelheid van het waterrad vindt men uit het quotiënt van den arbeid per seconde door het waterrad geleverd, met het gewigt van de uitgevloeide watermassa; uit die snelheid is dan tevens de snelheid van het aangrijpingspunt, alwaar de arbeid verrigt wordt, bekend. Evenwel moeten die snelheden niet te

(1) Weisbach, *Ingenieur- und Maschinen-Mechanik*, II, S 157, 164.

veel afwijken van die in gewone omstandigheden; dat is: de snelheid van het aangrijpingspunt van den arbeid, moet niet veel diegene overtreffen waarmede gewoonlijk dergelijke arbeid verrigt wordt, omdat alsdan de arbeidende gedeelten onbruikbaar worden, of de wederstand door te groote snelheid grooter wordt dan die waarop men in gewone gevallen rekent en waarop dus ook de berekening gegrond was. Is de snelheid te klein, dan wordt, bij de geringste vermeerdering van tegenstand, de snelheid van het werktuig geheel uitgeput en het staat stil; daarenboven zou bij te kleine snelheden het waterrad al het instroomend water niet kunnen opvangen; een gedeelte zou verloren gaan zonder te werken: zoo zou bij het bovenslagrad, bij te geringe snelheid, het water, na de cellen van het rad gevuld te hebben, daarover heenvloeijen.

Alhoewel dan uit de gegeven regels in elk geval, bij een gegeven werktuig door het water gedreven, de snelheid uit den geleverden arbeid te berekenen is, hoedanig ook het zamenstel van het werktuig zijn mag, moet men hier echter binnen zekere grenzen blijven, die door de ondervinding zijn aangewezen.

§ 92. Het wijzigen der betrekkelijke snelheid van het waterrad en van het punt alwaar de arbeid verrigt wordt, door middel van raderen of anderzins, heeft het nadeel van het verlies door de wrijving te vergrooten, terwijl daarenboven de kosten van den aanleg vermeerderen. Men tracht daarom dit zoo mogelijk te verkrijgen door de inrigting van het waterrad zelf. Overigens merke men op, dat, door de snelheid van het rad een weinig te doen afwijken van die welke het maximum van arbeid geeft, het verlies, uit den aard der maxima, altijd gering blijft.

Men kan op de volgende wijze, zonder van den geleverden arbeid te verliezen, de vereischte snelheid aan het aangrijpingspunt van den arbeid geven, zonder tusschenvoeging van raderwerk. Men verkrijgt namelijk eene kleine snelheid door het water op een bovenslagrad te doen werken, waarbij het instroomend water zelf eene zeer kleine snelheid bezit; men kan hier het rad eene middellijn geven gelijk aan het totale verval, verminderd met 20 à 30 duim voor de uitvloeijing beneden, en nog 20 à 30 duim voor de dikte van den instroomenden waterstraal, boven op het rad.

Vermindert men de middellijn van het bovenslagrad, dan stort het water er met meerder snelheid op, en alzoo kan de voordeeligste

snelheid van het rad eveneens vermeerderen; doch er gaat dan wegens de botsing ook eenige arbeid verloren.

Door het water met hetzelfde verval op een middelslagrad te doen werken, vermeerdert de snelheid van het instroomend water nog meer, en alzoo ook de voordeeligste snelheid van het rad. Evenwel houde men hierbij in het oog, dat wegens de moeijelijkheid der constructie en het groote gewigt der toestellen, de waterraderen zelden meer dan 9 à 10 el middellijn kunnen hebben. Door het water op een onderslagrad te doen werken vermeerdert men de voordeeligste snelheid nog meer.

De turbinen hebben het voordeel van met zeer onderscheidene snelheden te kunnen werken, zonder merkelijke verspilling van arbeid (1).

e.) GEBRUIK VAN DE WARMTE TOT HET ONTWIKKELEN VAN STOOM VOOR STOOMWERKTUIGEN.

Algemeene eigenschappen van den stoom.

§ 93. Uit de lessen over de Natuurkunde is het bekend, dat water, door het aanbrengen van de vereischte warmte, tot eene veerkrachtige vloeistof, *stoom* genaamd, overgaat, en dat op die wijze het uitzettend vermogen der warmte tot het bewegen van werktuigen dienstbaar wordt.

Blijft de stoom in aanraking met het water, dan verandert de spanning met de temperatuur, volgens eene wet die men niet volkomen kent, ofschoon men met genoegzame naauwkeurigheid, tot dat einde zamengestelde formules voor elke temperatuur, binnen bepaalde grenzen, de overeenkomstige spanning berekenen kan.

De volgende formule geeft zeer nabij de spanning p, overeenkomende met de temperatuur t, wanneer de spanningen niet meer dan vier dampkringsdrukkingen bedragen (2):

$$p = \left(\frac{72{,}67+t}{171{,}72}\right)^6 \quad \ldots\ldots \quad (a),$$

(1) Zie over dit onderwerp J. Poncelet, *Théorie générale des moteurs hydrauliques. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, Fevrier* 1852, p. 172. Alar (p. 174) vindt men nog een zeer eenvoudig werktuig beschreven, dat zonder ppen, kranen enz. water opbrengt.

(2) Pambour, *Théorie des machines à vapeur*, p. 49.

waarin t de temperatuur op den honderddeeligen thermometer en p de drukking in dampkringen aanwijst.

Boven vier dampkringen kan men de formule:

$$p = (0{,}28658 + 0{,}0072003\, t)^5 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a')$$

gebruiken. De uitkomsten dezer formulen komen bijna volkomen met de proeven overeen; de afwijkingen zijn althans zóó gering dat zij in de toepassingen kunnen verwaarloosd worden.

§ 94. De stoom, buiten aanraking van water aan temperatuurveranderingen blootgesteld, volgt bij zijne uitzetting de wetten der gas- of luchtsoorten, voor zoover namelijk de drukking niet die van den stoom overtreft, die bij dezelfde temperatuur in aanraking met water is, of zoo als men het noemt, de ruimte verzadigt.

Een volume V bij t graden buiten aanraking met water zal dan, onder dezelfde drukking, een volume V′ innemen bij t' graden van den honderddeeligen thermometer, aangewezen door de formule:

$$V' = \frac{1 + 0{,}00367\, t'}{1 + 0{,}00367\, t}\, V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b).$$

Blijft de temperatuur dezelfde, maar verandert de drukking p in p', dan is:

$$V' = \frac{p}{p'}\, V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c)$$

Veranderen beide, temperatuur en drukking, dan is:

$$V' = \frac{(1 + 0{,}00367\, t')p}{(1 + 0{,}00367\, t)p'}\, V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d)$$

mits hierbij de drukking p' nooit grooter zij dan uit de formule (a) of (a') voor de temperatuur t' wordt afgeleid.

§ 95. Volgens de formule (a) of (a') van § 93, komt met zekere temperatuur t'' eene drukking p'' overeen, zoodat de stoom die bij eene hoogere temperatuur de ruimte verzadigt, tot op t'' afgekoeld zijnde, gedeeltelijk tot water overgaat, terwijl de overblijvende stoom de spanning p'', met t'' overeenkomende, zal aannemen en alzoo de ruimte blijft verzadigen.

Omgekeerd, zoo men zekere hoeveelheid stoom, die bij t'' graden de ruimte verzadigt, en die alzoo de overeenkomstige spanning p, uit (a) of (a') van § 93 af te leiden, bezit, buiten

king van water tot op t' graden verwarmt en tevens de ing p', met t' overeenkomende, doet ondergaan, dan blijft de e verzadigt; eene grootere drukking dan p' zou den stoom ater doen overgaan.

6. Indien alzoo in de formule (d) van § 94, p en p' de ingen aanwijzen waarbij de ruimte verzadigd is, dan geeft rmule de betrekking tusschen de volumen V en V', door zelfde hoeveelheid water ingenomen, wanneer zij tot stoom gebragt die bij de temperatuur t en t' de ruimte verzadigt. r dan in de formule (d) voor p en p' hare waarden uit (a) van § 93 te stellen, zou men de betrekking van die vo- ook enkel in de temperaturen kunnen uitdrukken; of om- d, enkel in de drukkingen. Doch daar die formulen zeer gesteld worden, heeft men naar eenvoudiger, voor het ge- gemakkelijker uitdrukkingen gezocht: de Ingenieur Pambour daartoe voorgesteld de formule:

$$V' = \frac{n+qp}{n+qp'} V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d'),$$

n n en q standvastige coëfficienten, en p en p' de drukkingen nningen van den stoom, bij verzadigde ruimte, voorstellen. evenwel die formule met de naauwkeurige formule (d) te overeenstemmen, is men verpligt aan n en q verschillende en te geven: namelijk waarden, dienende voor spanningen en één dampkring tot op twee dampkringen, en andere voor ingen boven twee dampkringen. De waarden dier coëfficienten an voor het eerste geval:

$$n = 0{,}4227, \qquad q = 0{,}000\ 529,$$

het tweede geval:

$$n = 1{,}421 \qquad q = 0{,}000\ 471;$$

nde daarbij de drukking p, in ponden op de vierkante el itgedrukt. In de onderstaande tafel zijn de uitkomsten der vkeurige formule en van de hier voorgestelde bijeengebragt.

TAFEL der stoomspanningen en daarmede overeenstemm
temperaturen en inhouden.

Drukking op den vierkanten duim.	Temperatuur.	Betrekking van den inhoud des stooms tot dien van het water waardoor hij is voortgebragt, volgens de			Aanmerki
		Naauwkeurige formule.	Formule voor lage drukk.	Formule voor hooge drukk.	
0,025 p.	21,0° C	44405			Voor d
0,050	33,3	28604			kingen b
0,1	45,9	15019			den 0,5 p
0,2	59,6	7831			op den v
0,3	68,4	5358			kanten d
0,4	75,1	4097			is de b
0,5	80,5	3329	3260		derde form
0,6	85,2	2810	2781		niet naa
0,7	89,2	2435	2424		keurig
0,8	92,8	2152	2148		noeg.
0,9	94,4	1921	1929		
1,0	99,0	1751	1751		
1,5	111,1	1205	1197	1178	
2,0	120,1	925	909	922	
2,5	127,4	754	733	758	
3,0	133,6	638	614	643	
3,5	138,9	554	528	558	
4,0	143,7	490	463	494	
4,5	147,8	440	413	442	
5,0	151,8	400	372	400	
5,5	155,5	366	339	366	
6,0	158,9	339	311	337	
6,5	162,1	315	287	312	
7,0	165,2	294	267	291	
7,5	168,0	277	249	272	
8,0	170,7	261	234	256	
8,5	173,3	247	220	241	
9,0	175,9	234	208	228	
9,5	178,1	223	197	217	
10,0	180,3	213	188	206	

De formule $p\ (V - 58) = 1693$ voor de betrekking tussche
volume V en de drukking p in ponden op den vierkanten ned. d
geeft uitkomsten die voor de getallen der voorgaande tafel naauw
rig genoeg zijn, zonder voor hoogere drukkingen andere coëffici

te vereischen. Doch zij is in de toepassing niet zoo gemakkelijk; de Ingenieur Collett Homersham heeft de formule $p\,(V—65) = 24250$ voorgesteld in Engelsche maten, overeenkomende met $p\,(V—65) = 1705$ in Nederlandsche, doch zij komt minder goed met de voorgaande tafel overeen.

§ 97. Volgens vrij naauwkeurige proeven van Gay Lussac, vult een cubiek el water tot stoom van 100°, onder eene spanning van één dampkring gebragt, eene ruimte van nagenoeg 1698 cubiek ellen, en dewijl de drukking van één dampkring overeenkomt met 10333 ponden op de vierkante el (Hydrostatica, § 65), zoo vindt men, door in (d') te stellen $V = 1698$ en $p = 10333$ zeer nabij:

$$V' = \frac{10000}{n+qp'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (e),$$

voor de ruimte door een cubiek el water ingenomen, wanneer die tot stoom van p' ponden spanning is gebragt en daarbij de ruimte verzadigt. Hieruit volgt dan verder, dat een pond water eene hoeveelheid stoom levert; aangewezen door de formule:

$$V'' = \frac{10}{n+qp'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (f).$$

Blijkbaar zal men ook voor (e) kunnen stellen:

$$V' = \frac{1}{n+qp'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (g),$$

de el als eenheid nemende, mits de coëfficienten n en q door 10000 deelende, hetgeen wij in het vervolg kortheidshalve zullen doen.

§ 98. Volgens naauwkeurige proeven neemt een pond water van 100°, om tot stoom gebragt te worden, 550 eenheden warmte op; als namelijk die eenheid de warmte is die één pond water één graad van den honderddeeligen thermometer doet rijzen; het is daarbij onverschillig, tot welke spanning men dien stoom brengt, mits deze slechts bij die spanning de ruimte verzadigt.

De stoom bevat dus, bij gelijk gewigt, in elke temperatuur waarbij hij de ruimte verzadigt, evenveel warmte; kon men dan stoom bijv. van 100°, zamendrukken, tot dat hij eene drukking van twee dampkringen onderging, zonder daarbij eenige warmte te verliezen, dan zou hij werkelijk in stoom van twee dampkringen overgaan en de ruimte blijven verzadigen.

Door zamendrukking alléén kan men echter hiertoe niet geraken, omdat, zoodra de temperatuur door zamendrukking toeneemt, de warmte zich aan de omringende ligchamen mededeelt en voor den stoom verloren gaat, die alzoo gedeeltelijk tot water overgaat. Bij het zamendrukken van stoom wordt dus warmte vrij gemaakt, even als bij de uitzetting verkoeling ontstaat.

Laat men daarentegen stoom in eene grootere ruimte tot eene lagere drukking overgaan, dan zal de temperatuur afnemen en zoodanig worden als tot het verzadigen dier ruimte bij die mindere drukking noodig is, mits daarbij eveneens de omringende ligchamen geen warmte geven noch nemen.

Dewijl dan één pond water van 0°, om tot stoom, van welke temperatuur ook, over te gaan, 650 warmte-eenheden noodig heeft, zoo zal, wanneer één pond stoom tot water van t'' graden overgaat, eene hoeveelheid van $650-t''$ eenheden vrij worden. Geschiedt de afkoeling door bijvoeging van Q ponden water van t graden, dan zal die hoeveelheid water, indien hare temperatuur na de menging wordt t'' graden, eene hoeveelheid warmte $(t''-t)\,Q$ verkrijgen, die, door de afkoeling van den stoom geleverd wordende, de vergelijking:

$$Q\,(t''-t) = 650 - t'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (h),$$

geeft; waaruit de hoeveelheid water van t graden gevonden wordt, die één pond stoom tot water van t'' graden brengen kan (1).

§ 99. Ten einde te beoordeelen hoeveel brandstof er noodig is om een bepaald gewigt stoom te leveren, dienen de volgende opgaven, aanwijzende de hoeveelheid warmte-eenheden door een pond der navolgende stoffen geleverd:

Houtskool, droog of gedistilleerd . .	7050	eenheden
» gewone.	6000	»
Coke	7050	»
Beste steenkolen	7050	»
mindere soort.	6345	»
derde soort	5932	»

(1) De hier opgegevene stellingen zijn niet volkomen naauwkeurig; om eenzelfde gewigt water tot stoom van meer dan éénen dampkring te brengen, is iets meer warmte noodig, die echter in de toepassing buiten rekening mag blijven. (*Comptes rendus*, *Mai* 1847, p. 915.)

Hout aan het vuur gedroogd	3666	eenheden
» aan de lucht gedroogd.	2945	»
Gewone turf.	1500	»
beste soort.	3000	» (1).

Volgens waarnemingen van den Franschen Ingenieur Garnier (2) zou de turf uit de omstreken van Beauvais, bij gelijk gewigt, half zooveel stoom leveren als steenkolen, en zouden 100 pond turf 253 pond water tot stoom brengen. Rekent men nu voor één pond stoom 650 warmte-eenheden, dan geven 100 pond turf $650 . 253 = 164\,450$ eenheden, en alzoo 1 pond 1644,5, hetgeen overeenkomt met de helft der mindere soorten steenkolen zooals de Heer Garnier opgeeft. Hiermede komen overeen de waarnemingen van den Hoogleeraar Mulder omtrent de turf hier te lande (3), volgens welke die turf bij gelijk gewigt 0,5 à 0,6 van de warmte der minste Engelsche steenkolen geeft. Bij gelijk volume geeft de turf slechts 0,25 van de warmte-hoeveelheid der steenkolen.

Uit deze opgaven kan men de hoeveelheid stoom bepalen die uit één pond der opgenoemde brandstoffen te verkrijgen is, indien er bij de verbranding hoegenaamd geen verlies plaats heeft. Zoo zal bijv. één pond beste steenkolen $\frac{7050}{650} = 10{,}8$ pond stoom uit het water van 0° kunnen leveren of 11,2 pond uit het water van 20°. Evenwel schijnen deze hoeveelheden te klein; want uit proeven met stoomwerktuigen in Cornwallis, heeft men als gemiddelde gevonden 11,8 pond stoom voor één pond steenkolen; het meest vond men 15,37 pond stoom uit één pond steenkolen, en het minst 9,67 pond (4). Bij deze proeven ging onvermijdelijk een gedeelte der ontwikkelde warmte verloren, door de verwarming der lucht die tot de verbranding gediend had en door mededeeling aan de omringende ligchamen.

Volgens zeer naauwkeurige proeven, genomen op last van de Engelsche admiraliteit, waarbij de warmte door de verbranding van verschillende steenkolensoorten uit de soortelijke warmte der bestanddeelen is afgeleid, zou men uit de beste Engelsche steenkolen

(1) Bovenstaande opgaven zijn genomen uit Morin, *Aide-mémoire de mécanique pratique*, p. 160.

(2) *Annales des mines*; 1827, I.

(3) Letterbode 1838, p. 438.

(4) *Transactions of the Institution of Civil Engineers*, II, 174.

per pond 15,635, en uit de minste soort 10,101 pond stoom kunnen verkrijgen, mits er volstrekt geen warmte verloren ging en het water vooraf tot op 100° verwarmd was. Eene soort van kunstkool gaf 15,964 pond stoom per pond.

Gewoonlijk kan men bij stoomwerktuigen van middelbare grootte rekenen op 6,5 à 7 pond stoom per pond steenkolen (1).

ALGEMEENE BESCHRIJVING EN INDEELING DER STOOMMACHINEN.

§ 100. Wanneer men zich eenen cilinder voorstelt, waarin een zuiger sluitende beweegt, de bovenzijde en de bodem des cilinders gesloten zijnde, en verder de ruimten boven en beneden den zuiger met stoom van verschillende spanning opgevuld, dan zal de zuiger door den sterker spannenden stoom naar de zijde van den minder sterken stoom gedreven worden; is er nu gelegenheid, nadat de zuiger naar de eene zijde van den cilinder is gedreven, den sterkeren stoom aan de andere zijde te brengen en den zwakkeren aan de zijde waar eerst de sterkere werkte, dan zal de zuiger teruggaan. Deze heen- en wedergaande beweging zal voortduren zoolang men de afwisselende beweging van den stoom onderhoudt. Heeft men aan den zuiger eene stang verbonden die stoomdigt door het deksel heenbeweegt, dan zal men deze stang, door middel van een kruk, een hefboom of ander toestel, eenigen wederstand kunnen doen overwinnen en alzoo eenigen arbeid doen leveren.

In plaats van eenen regten cilinder, kan men een ringvormig uitgehold ligchaam nemen, waarin de zuiger wordt rondgedreven als de spanning van den stoom aan de eene zijde van den zuiger sterker dan aan de andere zijde is; hoe men hiertoe geraken kan zal nader worden aangewezen. De zuiger alsdan voortdurend rondgaande, kan eene as in beweging brengen, waardoor, even als bij de waterraderen, arbeid verrigt wordt.

§ 101. Het verschil van spanning aan weêrszijden van den zuiger, kan ook verkregen worden door dezen aan de eene zijde met den dampkring gemeenschap te geven, en aan de andere zijde stoom te doen werken, wiens drukking grooter of kleiner is dan die van den dampkring. Of wel men kan den stoom aan

(1) Armengaud, *Publication industrielle*, VII, p. 356.

de eene zijde afkoelen door gemeenschap met koude ligchamen, meestal koud water, terwijl aan de andere zijde de stoom met heet water in gemeenschap blijft. Door die twee gemeenschappen beurtelings te doen afwisselen, zal de zuiger eene heen- en weêrgaande beweging aannemen.

§ 102. Men kan den stoom doen werken met eene spanning in den ketel van 1 à $1^1/_2$ maal die van den dampkring; zulk een werktuig noemt men van *lage drukking*; klimt de spanning van $1^1/_2$ tot op 4 dampkringen, dan wordt het een werktuig van *middelbare drukking*; terwijl werktuigen alwaar de spanning van 4 tot 8 à 10 dampkringen bedraagt, van *hooge drukking* worden genoemd.

Wanneer, door het verschil van drukking bij afwisseling aan beide zijden van den zuiger te doen werken, die zuiger in zijne heen- en weêrgaande beweging arbeid verrigt, noemt men zulk een werktuig van *dubbele werking*. Wordt alleen in ééne rigting stoomdrukking aangebragt, dan noemt men het werktuig van *enkele werking*.

§ 103. Eindelijk verdeelt men nog de werktuigen in werktuigen *met* en *zonder uitzetting*. Men kan namelijk den stoom, wanneer hij den zuiger door een gedeelte van zijne baan heeft gebragt, geheel afsluiten van het water waaruit hij gevormd is; alsdan zal de stoom bij den verderen voortgang van den zuiger uitzetten, van temperatuur en spanning veranderen (§ 95), en alzoo met minder kracht den zuiger voortduwen; in dit geval wordt de stoom gezegd bij uitzetting te werken.

Blijft daarentegen de stoom in gemeenschap met het water waaruit hij voorkomt, tot dat de zuiger aan het eind van den cilinder is gekomen, dan werkt de stoom zonder uitzetting.

Men kan dus werktuigen hebben van lage, middelbare en hooge drukking, die met of zonder uitzetting van enkele of dubbele werking zijn. De grenzen tusschen de lage, de middelbare en hooge drukking zijn eenigermate willekeurig; het is eigenlijk voldoende bij de stoomwerktuigen, de lage en hooge drukking te onderscheiden.

Wanneer bij werktuigen van enkele werking, de stoom alleen dient om door zijne afkoeling eene luchtledige ruimte onder den zuiger voort te brengen, terwijl de drukking van den dampkring aan de andere zijde de beweging voortbrengt, dan noemt men zulk een werktuig *atmospherisch werktuig*.

§ 104. Tot een stoomwerktuig worden vereischt een vuurhaard, een schoorsteen en een ketel waarin de stoom wordt voortgebragt, verder de stoomcilinder met zuiger, waardoor de eigenlijke arbeid van den stoom wordt verkregen, en eindelijk de toestel waardoor de gemeenschap van den stoom uit den ketel met den stoom in den cilinder beurtelings toegelaten of afgesneden wordt, benevens al wat noodig is tot verkoeling van den stoom.

Het uitgestrekt gebruik, thans van den stoom tot het bewegen van werktuigen gemaakt, heeft het belang doen inzien om zonder grootere onkosten, en dus vooral om zonder meerdere brandstoffen, de nuttige uitwerking van den stoom te vermeerderen. Tot dat einde zijn dan ook een onnoemlijk aantal wijzigingen in de hier opgenoemde toestellen voorgeslagen. Het is niet wel doenlijk deze allen hier te doen kennen en hare waarde te beoordeelen; wij zullen ons alleen bepalen tot de beschrijving der voornaamste thans voor de best gehouden zamenstelling; kunnende men in het werk van den Hoogleeraar Verdam (1) zeer vele dier verschillende toestellen leeren kennen.

1) *Werktuigen van lage drukking.*

§ 105. De ketels worden van koperen of ijzeren platen zamengesteld, veelal van den vorm zooals in de Figuren 14ª tot 14ᵈ bij *ABCD* is aangewezen, zijnde deze gedaante het meest door den beroemden Watt gebruikt. Men rekent dat de ketel bij eene geregelde werking half vol, of tot op 0,6 van zijnen inhoud met water moet gevuld zijn en het overige met stoom, welke laatste ruimte omtrent tienmaal den inhoud des stoomcilinders moet bedragen.

De dikte van de ijzeren platen regelt zich naar de spanning van den stoom en de gedaante van den ketel; doch meestal geeft men bij lage drukkingen, althans aan den bodem en aan de zijden, voor zoover zij met de vlam in aanraking komen, eene dikte van 8 à 12 strepen, ofschoon deze ver de dikte overtreft, vereischt om de spanning te wederstaan. Deze meerdere dikte doet den ketel langer duren; te groote dikte belemmert echter den gereeden toevoer der warmte naar het water.

(1) *Volledige verhandeling over de stoomwerktuigen.*

Het vuur wordt op een rooster *EF* onder tegen den ketel aangebragt, zoo digt mogelijk, om weinig warmte te verliezen; om diezelfde reden vernaauwt men nog meer, door eene brug of drempel *EG*, den doorgang voor de vlam en den rook achter den rooster. Om het warmteverlies nog meer te verminderen wordt de vlam en de rook zijdelings langs den ketel, door middel van vuur of rookgangen *GHJK'*, rondgeleid en verder in den schoorsteen *K'* overgebragt. Om de meestmogelijke warmte aan den ketel mede te deelen, zou eigenlijk de rook, bij het verlaten van den ketel, dezelfde temperatuur als deze moeten bezitten; dit is echter nooit het geval, omdat de vuurgangen daardoor te lang worden, hetgeen den luchtstroom te veel belemmert en de verbranding onvolkomen doet plaats hebben.

De soortelijke warmte van den stoom, bij gelijken inhoud, veel geringer zijnde dan die van het water, zoo neemt elke vierkante eenheid water, in aanraking met de wanden van den ketel, in gelijke tijden veel meer vrije warmte over, dan eene even groote oppervlakte stoom. Wanneer dus de vlam een gedeelte van den ketel, aan de binnenzijde met stoom in plaats van met water in aanraking, bedekt, dan zal dit gedeelte veel heeter worden dan de deelen die met water in aanraking zijn; daardoor worden eerstgenoemde gedeelten spoedig gloeijend, hetgeen den tegenstand van het ijzer zoodanig kan verminderen, dat de ketel berst of scheurt. Komt bij de weteraanvulling het water met de gloeijende gedeelten in aanraking, dan ontwikkelt zich in zeer korten tijd zeer veel stoom, meer dan de veiligheidskleppen kunnen afvoeren, hetgeen almede het bersten van den ketel ten gevolge kan hebben. Ook meenen sommigen dat het water met gloeijend ijzer in aanraking komende, in zijne bestanddeelen (waterstof en zuurstof) ontbonden wordt; de waterstof, met gewone lucht vermengd, vormt een ontplofbaar mengsel, dat, al is de ketel koud en zonder stoom, gevaarlijk kan wezen, waarvan dan ook voorbeelden zijn; koperen ketels zijn niet aan die zwarigheid onderworpen. Doch hoe dit zij, men zorge altijd de vuurgangen en het waterpeil in den ketel zoodanig te regelen, dat het water de deelen bedekt die met de vlam in aanraking kunnen komen.

§ 106. Wanneer de vuurhaard en ketel naar behooren zijn ingerigt, zal de hoeveelheid voortgebragte stoom evenredig zijn aan de hoeveelheid verbruikte brandstof; en daar de stoom blijk-

baar den arbeid oplevert die door het werktuig zal verrigt wo
den, zoo moet de vuurhaard ingerigt wezen naar de hoeveelhe
brandstof die men in eene tijds-eenheid, bijv. in eene minuut, v
verbranden. Indien, volgens het opgegevene in § 99, een po
steenkolen 11,8 pond stoom kan leveren, en men tot het ve
rigten van zekeren arbeid 118 pond stoom in de minuut nood
heeft, dan zal de vuurhaard groot genoeg moeten wezen om
pond kolen in de minuut te kunnen verbranden.

Men rekent echter dat bij zeer goed ingerigte vuurhaarde
omtrent een derde der voortgebragte warmte verloren gaat, gro
tendeels door den luchtstroom in den schoorsteen medegevoerd
en dat alzoo één pond goede steenkolen nagenoeg 7 à 8 pond stoo
levert (1). Volgens waarnemingen op de stoomketels, waardoor
gebouwen der Koninklijke Akademie voor Zee- en Landmagt tha
verwarmd worden, kan men met één mud Roersteenkolen in gruis
5 à 600 pond water tot stoom brengen, en daar een mud steen
kolen nagenoeg 70 pond weegt, zoo geeft dit 7,1 à 8,5 po
stoom op één pond steenkolen De rooster heeft eene oppervlakt
van een vierkante el en kan één mud steenkolen in het uur ver
branden. Dit laatste komt overeen met waarnemingen van Clemen
en anderen, volgens welke men op een' goeden vuurhaard 6
pond steenkolen voor elke vierkante el oppervlakte van den roost
in één uur kan verbranden. Peclet (2) zegt 100 pond, alsmed
dat de groote roosters voordeelig zijn, maar moeijelijk om te stoke

Verder moet de ruimte tusschen de roosterijzers voor steen
kolen een zevende van de oppervlakte des roosters bedragen, ter
wijl de ijzers digt genoeg bijeen moeten zijn om geen onverbrand
stukken steenkolen door te laten. De steenkolen moeten ten hoog
5 à 6 duim dik op den rooster liggen. De rooster heeft gewoon
lijk dezelfde breedte als de ketel en reikt tot op een derde de
lengte. In het midden is de bodem van den ketel 48 à 60 dui
van den rooster, en slechts 28 à 36 duim aan de zijden. Volge
Peclet (3) maar 30 à 35 duim.

De brug is in het midden bij *G* (Fig. 14*b*) 33 à 38 duim ond
den ketel of 15 à 22 duim boven den rooster, doch moet ni

(1) Volgens de waarnemingen in § 99 aangehaald, schijnt men door behoorlijk
inrigting der vuurhaarden en ketels die hoeveelheden te kunnen verdubbelen.

(2) *Traité de la chaleur*, 2e *Édition*, I. p. 240.

(3) Ibid. I, 244.

boven den bodem van den vuurgang uitkomen, wijl de ketel dan te veel lijdt; de openingen der vuurgangen rondom den ketel zijn een vijfde en de dwarsdoorsnede van den schoorsteen een zesde van die boven den rooster. De hoogte van den schoorsteen is meest tusschen 18 en 36 el begrepen. De luchtstroom in den schoorsteen kan overigens, door aangebragte schuiven, naar goedvinden geheel of gedeeltelijk worden afgesloten.

§ 107. Meestal worden de vlakke zijden der ketels met ijzeren staven *IK* verbonden, om de uitzetting door de drukking van het water en den stoom voor te komen; somtijds zelfs verbindt men de gebogen zijden op dezelfde wijs.

Behalve het zoogenaamde *mangat LM*, waardoor men in den ketel kan afklimmen, is er nog eene opening voor de stoombuis *N*, waarmede de stoom naar den stoomcilinder vloeit; gewoonlijk heeft deze buis een vijfde van de middellijn des stoomcilinders. Verder is er de opening voor de voedingspijp *O*; deze pijp heeft meestal eene hoogte van 3 à 4 el boven den ketel, en eindigt boven in eene eenigzins wijdere ruimte of bak, die op de eene of andere wijs met water wordt aangevuld. De gemeenschap tusschen het water in dien bak met de pijp, is afgesloten door eene klep *o*, die zich opent wanneer de hefboom, waaraan de drijver *P* in den ketel hangt, wordt geligt; en dit geschiedt zoodra het water, in den ketel dalende, den drijver op den hefboom doet werken; de ketel voedt alzoo zich-zelven, zoo lang de bak boven aan de voedingspijp gevuld blijft.

Er zijn daarenboven meestal nog twee kranen *R* en *S* (Fig. 14[d]) aan den ketel, waarvan bij behoorlijken stand van het water, de eene in den stoom en de andere in het water reikt, zoodat men zich dadelijk, door het openen dier kranen, van den waterstand in den ketel kan overtuigen.

De zoo even beschreven voedingswijze kan alleen gebruikt worden wanneer de spanning van den stoom niet meer dan omtrent anderhalf dampkringen bedraagt; want dan reeds moet de voedingspijp ruim 5 el boven den ketel uitkomen, dewijl anders de drukking van den stoom in den ketel, het water door de voedingspijp naar buiten zou drijven. Bij sterkere spanningen gebruikt men perspompen, tot aanvulling van den ketel.

§ 108. Eindelijk zijn er, volgens de wettelijke bepalingen omtrent de stoomwerktuigen, twee veiligheidskleppen *T* en *U*, waar-

van een *U* buiten het bereik der stokers, alleen voor den eigenaar van het werktuig toegankelijk is. Deze kleppen worden soms door veren, maar meestal door gewigten, hetzij met of zonder tusschenkomst van eenen hefboom, gesloten gehouden, en de gewigten zóó geregeld, dat de kleppen zich openen, zoodra de stoom eene grootere spanning aanneemt dan men met veiligheid kan toelaten. De opening dezer kleppen moet groot genoeg zijn om de vereischte hoeveelheid stoom te doen ontsnappen, wanneer de spanning door te sterk stooken te groot wordt. De oppervlakte der opening van de klep moet 4,056 vierkante duim zijn voor elke paardenkracht des werktuigs (§ 43).

Men heeft nog ook wel een toestel aan den ketel om de spanning van den stoom te meten, bestaande in eene omgebogen buis *V*, gedeeltelijk met kwik aangevuld. De stoom op het kwik aan de binnenzijde drukkende, doet het aan de buitenzijde oprijzen; het verschil in hoogte der beide kwikspiegels geeft dan de overmaat van de stoomspanning boven die van den dampkring te kennen. Gewoonlijk drijft op den buiten kwikspiegel een staafje, dat tegen eene schaal de spanning van den stoom in duimen kwik aanwijst. Wordt de stoomspanning grooter dan de totale lengte der kwikkolom, dan wordt het kwik uit de buis gedreven en de stoom ontsnapt; men heeft dus hiermede eene soort van veiligheidsklep.

§ 109. De stoomcilinder, het eigenlijke hoofddeel van het stoomwerktuig, is meestal van ijzer en zeer naauwkeurig cilindrisch uitgeboord. De dikte der wanden is veel meer dan noodig is om de drukking van den stoom te wederstaan; daardoor wordt de afkoeling van den stoom naar buiten minder. Om dezelfde reden wordt de cilinder veelal van buiten met hout of met andere weinig warmte- geleidende stoffen bekleed. Soms heeft men wel een' tweeden cilinder, ook wel *mantel* genoemd, die den eersten omvat, terwijl de tusschenruimte met stoom is aangevuld. Hierdoor belet men wel de afkoeling des binnensten cilinders, maar ten koste van den stoom in de tusschenruimte, die, eveneens uit den ketel aangevoerd, ten slotte evenveel warmteverlies geeft als zonder tweeden cilinder; men behoudt daarbij alleen het voordeel van geen of weinig water uit gecondenseerden stoom in den cilinder te hebben, hetgeen voor de geregelde werking van het werktuig nuttig is, en volgens genomen proeven nog al merkelijke besparing van brandstof kan opleveren.

De zuiger in den stoomcilinder, het deel zijnde waarop de stoom zijne kracht uitoefent tot beweging van het werktuig, zoo hangt het meer of minder vermogen des werktuigs hoofdzakelijk af van de oppervlakte des zuigers waarop de stoom werkt, en dus van zijne middellijn. Bij elken zuigerslag doorloopt de zuiger eene bepaalde ruimte en brengt een' arbeid voort gelijk aan het product van de drukking op den zuiger met de lengte van den zuigerslag. Daar nu bij eenzelfde soort van werktuig de spanning van den stoom in den ketel nagenoeg altijd dezelfde blijft, zoo is de arbeid van elken zuigerslag evenredig aan het product van de basis met de hoogte van den cilinder, of aan den inhoud des cilinders; en daar tevens de snelheid van den zuiger, althans bij vaste werktuigen, nagenoeg bij allen ook dezelfde is, zoo is dan de arbeid in denzelfden tijd verrigt, evenredig aan den arbeid van elken zuigerslag, dat is: evenredig aan den inhoud van den stoomcilinder, of, naauwkeuriger gesproken, evenredig aan den inhoud bij elken zuigerslag doorloopen. Is dus de drukking of spanning van den stoom bekend, alsmede de afmetingen van den stoomcilinder, dan kan daaruit het vermogen in paardenkrachten van het werktuig worden afgeleid. De volgende tafel bevat de middellijn van den stoomzuiger, de lengte van den slag en zijne snelheid voor werktuigen van lage drukking, zooals die door Watt zijn opgegeven, overgenomen uit Morin (1).

(1) *Aide-mémoire*, p. 183.

Getal paarden.	Lengte van den zuigerslag.	Snelheid van den zuiger in de seconde.	Middellijn van den stoomzuiger.
4	0,914 el	0,884 el	0,305 el
6	1,068	0,960	0,355
8	1,200	0,975	0,407
10	1,220	1,015	0,444
12	1,220	1,015	0,483
14	1,220	1,015	0,522
16	1,416	1,086	0,552
18	1,416	1,086	0,585
20	1,520	1,090	0,602
22	1,520	1,090	0,635
24	1,520	1,090	0,661
26	1,678	1,118	0,680
28	1,678	1,118	0,705
30	1,800	1,140	0,718
36	1,800	1,140	0,784
40	2,135	1,244	0,800
45	2,135	1,244	0,847
50	2,135	1,244	0,893
60	2,135	1,244	0,978
70	2,440	1,300	1,036
80	2,440	1,300	1,105
90	2,440	1,300	1,172
100	2,440	1,300	1,232

§ 110. De hier opgegeven middellijnen zijn nagenoeg evenredig
den vierkantswortel uit het getal paardenkrachten; derhalve z
de inhouden der zuigeroppervlakten evenredig aan dit getal; w
dan de snelheid der zuigers dezelfde, dan zou ook de drukki
op elke vierkante eenheid dezelfde wezen; doch daar die snelhe
langzaam toeneemt, moet de drukking op de vierkante eenheid ie

minderen, opdat het product van den weg door die drukking gelegd, met de drukking op de vierkante eenheid, standvastig zij. olgens de hier opgegeven afmetingen zou voor een werktuig van 0 paarden de middellijn des cilinders bedragen 0,444 el, en de zuiger n eene minuut afleggen $1,015.60 = 60,90$ el; indien alzoo de rukking op elken vierkanten duim één pond bedroeg, dan zou $,44,4^2\pi.60,90 = 94244$ den arbeid per minuut aanwijzen. Doch volgens § 43 is de arbeid van tien paarden 45000, nog iet de helft van het getal 94244, en dewijl de drukking van n dampkring nagenoeg gelijkstaat met die van één pond op vierkante duim, zoo is door Watt gerekend op slechts de helft n eene dampkringsdrukking. De spanning van den stoom in ketels der werktuigen van lage drukking, is evenwel nagenoeg grepen tusschen één, en één en één derde dampkring, zoodat, aftrek van het verlies door afkoeling enz., bij het overvloeijen n den stoom uit den ketel naar den cilinder, en het verschil n spanning, vereischt om den stoom met de vereischte snelheid den ketel te doen afvloeijen, er nog nagenoeg de helft van den eid verloren gaat tot het overwinnen der wrijvingen van den ger en van de andere deelen des werktuigs. Hieruit blijkt ens, dat voor het getal paardenkrachten door de werktuigen uit tafel geleverd, moet gerekend worden de beschikbare arbeid, aftrek van alle verlies door het werktuig zelf. Men kan s werkelijk met een werktuig van 10 paarden 45000 pond op el hoog in de minuut brengen.

Men vindt wel soms de drukking op den vierkanten duim — , ingevolge de voorgaande tafel, op den zuiger zou moeten werken, daarop den arbeid, door het getal paarden des werktuigs aanwezen, voort te brengen, en die alzoo nagenoeg op een half pond er vierkante duim uitkomt — aangenomen als de werkelijk op en zuiger bestaande drukking; doch dit is niet juist: de stoom werkt met grootere spanning; maar men moet die drukking beschouwen als de beschikbare drukking die overblijft, na aftrek van die tot het overwinnen der wrijvingen en tegenstanden van allerlei aard vereischt.

§ 111. Er is in het algemeen eenig voordeel gelegen in het gebruiken van cilinders met grootere middellijn en met daarmede overeenkomenden, korteren zuigerslag, boven dat van smalle cilinders met langeren zuigerslag, omdat de wrijving van den zuiger

in den cilinder nog al aanmerkelijk is, en slechts toeneemt i reden van de middellijn des zuigers, terwijl de drukking in d vierkante reden dier middellijn vermeerdert; er gaat dus bij wijd cilinders een minder gedeelte der drukking, dan bij smalle, doo de wrijving verloren. Al te korte zuigerslagen zijn echter na deelig, omdat zij de geregelde toevloeijing van den stoom in de cilinder belemmeren; ook vermenigvuldigt men daardoor al te veel de kleine botsingen die bij deze werktuigen niet gehee zijn te ontwijken. Belangrijke proeven zijn te dien aanzien ge nomen door den Ingenieur Paltrineri (1).

§ 112. Ten einde den stoomzuiger *QR* (Fig. 16ᵃ) naauwkeuri tegen den cilinder te doen aansluiten, is om den zuiger een vlecht *pq* van hennep in vet gedoopt gelegd; deze vlecht rus van onderen op den uitstekenden rand van den zuiger, en word van boven aangeklemd door een' lossen op den zuiger geschroef den rand *mn*; door het meer of minder sterk aanschroeven kan me de aansluiting naar behooren regelen.

De zuigerstang *T* moet mede stoomdigt door het deksel va den cilinder gaan; daartoe wordt een in vet gedoopten hennep krans om dat gedeelte van de stang gelegd, in de dikte va het deksel bevat; deze hennepkrans wordt nedergedrukt door eene ring, tegen het deksel vastgeschroefd, waardoor men eveneen de meer of minder sterke aansluiting kan regelen. Men noem dit gedeelte de *hennepdoos*.

Bij de overige zuigers en stangen des werktuigs worden, voo zooveel noodig, dergelijke voorzieningen aangebragt.

§ 113. De naauwkeurige aansluiting van den zuiger tegen d zijwanden van den cilinder, door middel der henneppakking, ver oorzaakt eene aanmerkelijke wrijving, vooral als de zuiger te ster gepakt is; evenwel moet de zuiger door te zwakke pakking gee doortogt aan den stoom geven.

Indien de hennepkrans door de drukking van den stoom, di tusschen den cilinder en den zuiger indringt, niet teruggedruk wordt, en alzoo geen doortogt aan den stoom verleent, dan die de kracht, waarmede de pakking tegen den cilinder drukt, voo het minst gelijk te staan met de drukking of de spanning va den stoom. Bij werktuigen van lage drukking bedraagt de breed

(1) *Comptes rendus etc. Sept* 1847, p. 452.

der henneppakking nagenoeg een zesde van de middellijn des zuigers; noemt men dus algemeen deze breedte b en de middellijn des zuigers d, dan is de oppervlakte der pakking πdb; stelt men de drukking van den stoom op de vierkante eenheid $= p$, alsmede den wrijvings-coëfficient $= f$, dan is de wederstand der wrijving in de rigting van de as des cilinders $\pi pfbd$, de loodregte drukking op den zuiger is $\frac{1}{4}\pi d^2 p$, waarvan na aftrek der wrijving overblijft $\pi pd(\frac{1}{4}d - fb)$. Stelt men nu $b = \frac{1}{6}d$ en $f = \frac{1}{4}$, dan geeft de voorgaande formule $\frac{5}{24}\pi pd^2$; het verlies door de wrijving bedraagt alzoo een zesde gedeelte der uitgeoefende drukking; dewijl de weg waarover die wederstand overwonnen wordt, gelijk is aan den weg door de stoomdrukking afgelegd, zoo is ook het verlies aan arbeid een zesde van den totalen arbeid.

Hoe smaller de pakking wordt, des te minder wordt het verlies, maar des te eerder laat de zuiger stoom door, hetgeen nog nadeeliger is. Wanneer men de henneppakking weglaat en de aansluiting verkrijgt door bronzen segmenten, die uit den omtrek des zuigers tegen den cilinder door veren of anderzins gedrukt worden, dan kan, bij naauwkeurige bewerking, de aansluiting juister zijn, zonder dat de zuiger zulk eene aanzienlijke dikte noodig heeft.

Voor zooveel men uit de waarnemingen kan opmaken, schijnt het verlies door de wrijving minder te bedragen dan de vorige berekening aanwijst; welligt is bij behoorlijk smeren de wrijvingscoëfficient minder, terwijl ook de aansluiting wel niet overal op de geheele breedte met de volle kracht zal plaats hebben.

§ 114. De stoom moet uit den ketel in den stoomcilinder gebragt worden, en wel beurtelings onder en boven den zuiger, indien, zooals meestal het geval is, het werktuig van dubbele werking zal wezen. Terwijl de stoom aan de eene zijde van den zuiger drukt, moet de drukking van den stoom aan de andere zijde worden weggenomen, zonder dat de dampkring op den zuiger werken kan, dewijl de stoomspanning zelve die drukking maar weinig overtreft en zonder dit geen genoegzame kracht op den zuiger zou uitoefenen. Hiertoe is er een gesloten vat of ruimte *ABC* (Fig 16[a]), *condensor* of *koelvat* genoemd, waarin men een waterstraal doet spuiten door eene pijp *D*. De stoom aan de eene zijde van den zuiger met dit koelvat in gemeenschap gebragt zijnde, terwijl hij aan de andere zijde uit den ketel wordt aangevoerd, zal in het koelvat onmiddellijk van temperatuur ver-

anderen en grootendeels tot water overgaan, terwijl de overblijve stoom de spanning aanneemt die met de lage temperatuur het koelvat overeenkomt. Hierdoor wordt het verschil van dr king aan weêrszijde van den zuiger zeer aanmerkelijk, en werktuig kan een' daaraan geëvenredigden arbeid opleveren.

§ 115. De toestel waardoor men den stoom onder en bo den zuiger beurtelings in gemeenschap brengt met den ketel het koelvat, kan op verschillende wijzen worden ingerigt.

Een der meest gebruikelijke toestellen is de zoogenoemde stoo schuif, bestaande uit een' hollen halven cilinder *ih* (Fig. 16 stoomdigt sluitende tegen den vlakken achterkant *ab* van d stoomcilinder. In Fig. 16ª is *FGi* de verticale doorsnede van schuif, volgens de lijn *kf* (Fig. 16ᵉ); de achterkant van den stoo cilinder heeft bij het onder- en boveneind van den stoomcilind twee openingen. De halve cilinder *ih* (Fig. 16ᵉ) is van bov en beneden, alsmede zijdelings, bij *ghi* (Fig. 16ª) open, nemen de zijdelingsche opening bijna de geheele hoogte der schuif Aan het boven- en benedeneinde sluit de schuif stoomdigt teg de omringende stoomkast *LHI*, zooals dit in Fig. 16ª is aangeweze De stoom bij *U* uit den ketel aangevoerd, vult de ruimte *kl* rondom den halven hollen cilinder geheel op, doch kan wege de zoo evengenoemde stoomdigte sluiting, de inwendige ruimt van den halven cilinder niet bereiken. In den stand van figu 16ª kan de stoom boven den zuiger nog even naar het koelv afvloeijen, terwijl er onder den zuiger uit de ruimte *h* nog een stoom kan toevloeijen. Wordt echter de schuif *GF* opwaarts schoven, door middel der stang *K*, die stoomdigt door het dek van de stoomkast beweegt, dan kan de stoom van onder den zui naar het koelvat ontsnappen, terwijl de stoom uit *h* toegang v krijgt naar de ruimte boven den zuiger.

De stang *K* der schuif is aan twee andere *k'y'* en *k''y''* (Fig. verbonden, door eenen tuimelaar *wxy* (Fig. 16ª) op- en neder wogen wordende, hetzij uit de hand, hetzij op eene nader beschrijven wijze, door het werktuig zelf.

§ 116. De hier beschrevene stoomschuif heeft het voordeel er bij elken zuigerslag geen andere stoom verkoeld wordt, die zich in den stoomcilinder zelven en in de opening bo of beneden van den cilinder bevindt, dat bij andere sto schuiven niet altijd het geval is. Doch werkt de stoom bij

zetting, dan moet de stoom worden afgesloten, door eene bijzondere kraan of klep in de buis *U*; want door vroeger, dan na volbragten slag, door het gedeeltelijk nederschuiven van de schuif, den stoom af te sluiten, zou ook aan de andere zijde de gemeenschap met het koelvat vroeger ophouden; de stoom daardoor gedeeltelijk in den cilinder achterblijvende, zou dan de beweging van den zuiger belemmeren. Bij het afsluiten ergens in de buis *U*, zal daargentegen, niet alleen de stoom in den cilinder, maar ook die in de ruimte *khgf* uitzetten, waarop bij de berekening van de hoegrootheid der uitzetting moet gelet worden.

Dewijl de stoom altijd de ruimte *khfg* opvult, wordt de schuif naar alle zijden nagenoeg even sterk door den stoom gedrukt, zoodat bij de beweging, alleen de wrijving langs de stoomdigte sluiting te overwinnen is. Bij andere zamenstellen wordt veeltijds de schuif naar de eene of andere zijde gedrukt, en alzoo de wrijving aanmerkelijk vermeerderd.

Somtijds gebruikt men ook kranen of kleppen tot het afsluiten en toevoeren van den stoom; doch de kranen zijn moeijelijk goed sluitende te houden, en moeten bij groote werktuigen zeer aanzienlijke afmetingen hebben, om genoegzaam ruimen toegang voor den stoom te leveren. Kleppen kunnen ook moeijelijk stoomdigt gemaakt en nog moeijelijker in dien staat gehouden worden.

§ 117. Men geeft gewoonlijk per paardenkracht aan de opening die den stoom in den cilinder brengt, 5,07 vierkante duim opening, en aan de opening *i* (Fig. 16[c]) voor het koelvat 7,68 vierkante duim. Hoe ruimer de stoom in den cilinder en van dezen naar het koelvat kan vloeijen, des te minder tegenstand bestaat er bij de beweging.

Men moet echter de vertraging van den stoom bij het toestroomen door naauwe openingen niet als een eigenlijk verlies beschouwen. Kan namelijk de stoom niet geheel onbelemmerd onder den zuiger komen, dan wordt er des te minder stoom uit den ketel afgevoerd en dus ook minder brandstof verbruikt. Het eigenlijke nadeel bestaat dáárin, dat door hetzelfde werktuig, bij eenen vrijeren toegang tot den cilinder, meerder arbeid zou kunnen verrigt worden, mits naar dezelfde evenredigheid meerder brandstof verbruikende. Hoe gemakkelijker daarentegen de stoom naar het koelvat kan stroomen en hoe eerder hij daar verdigt

wordt, des te minder tegenstand tegen den zuiger en des meer nuttige arbeid wordt er verkregen.

§ 118. Het inspuitingswater en de afgekoelde stoom zoud spoedig de ruimte van het koelvat opvullen, indien dit wat niet, door middel van eene pomp *MM*, *luchtpomp* genoemd, we afgevoerd. Deze pomp gemeenschap bij *C* met het koelvat hebben en door het werktuig bewogen wordende, houdt het koelvat ledi Het water uit het koelvat wordt meestal voor een gedeelte do eene kleine perspomp *N* naar den voedingstoestel van den ket gebragt, omdat het, reeds warm zijnde, eenigzins minder warmt uit den ketel noodig heeft om tot stoom over te gaan, dan ge woon koud water; het overige water vloeit door eene opening we

Wanneer de temperatuur t van het inspuitingswater gegeve is, alsmede de temperatuur t'' van den overblijvenden stoom, dan z het aantal ponden water tot de condensatie van een pond stoo noodig, door de formule (*h*) van § 98 gevonden worden. Is d de hoeveelheid P ponden stoom, die de ketel in eene minu levert, bekend, dan zal het aantal ponden water Q, tot de con densatie vereischt, aangewezen worden door de formule:

$$Q = \frac{650 - t''}{t'' - t} P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a$$

Gewoonlijk is de temperatuur van den afgekoelden stoom ni hooger dan 50°, en rekent men het condensatiewater te zijn 10°, dan heeft men:

$$Q = \frac{600}{40} P = 15P;$$

er moet dus omtrent vijftienmaal zooveel water ingespoten wor den als er stoom door den ketel wordt geleverd. Wel is wa onderstelt deze formule dat al de stoom tot water wordt ge bragt, terwijl eigenlijk, door het verkoelen van den stoom tot 50°, het koelvat nog gevuld blijft met stoom van 50°, die zijn warmte niet heeft afgegeven; maar de stoom eenmaal het koelv opgevuld hebbende, zoo wordt de later aangevoerde stoom g heel gecondenseerd, en derhalve geldt de voorgaande formule t volle zoodra het werktuig in geregelden gang is.

§ 119. Bij eene drukking van 1,5 dampkring, beslaat de stoo eene ruimte nagenoeg 1200 maal zoo groot als het water waar

ij is voortgekomen (§ 96); derhalve weegt een cubiek palm stoom an die spanning $\frac{1}{1200}$ pond; heeft dus de stoomcilinder in elken slag m cubiek palmen stoom noodig, dan moet er $\frac{m}{1200}$ ponden stoom gecondenseerd en alzoo nagenoeg $\frac{15m}{1200} = \frac{m}{80}$ pond water ingespoten worden; de luchtpomp moet alzoo $\frac{m}{80} + \frac{m}{1200} = \frac{m}{75}$ pond water afvoeren. Dewijl verder bij elken heen- en weêrgang van den stoomzuiger, die van de luchtpomp slechts eenmaal het koelvat ledigt, omdat hij alleen bij het opgaan, en niet bij het teruggaan water oplevert, zoo moet voor m cubiek palm, gelijk aan den inhoud van eenen zuigerslag in den stoomcilinder, de luchtpomp $\frac{2m}{75} = 0{,}0267m$ ponden water afvoeren.

Men is gewoon voor de middellijn van de luchtpomp twee derde van die des stoomcilinders te nemen, en haren slag op de helft van dien der stoomzuigers te stellen; dus bevat zij $\frac{4}{9} = 0{,}222$ van den inhoud des stoomcilinders, en alzoo veel meer dan noodig is om het inspuitingswater en den gecondenseerden stoom af te voeren. Zelfs bij stoom van vier dampkringen, alwaar de luchtpomp nagenoeg $0{,}065m$ zoude moeten leveren, is de ruimte van de luchtpomp nog te groot.

§ 120. Doch behalve het inspuitingswater en den gecondenseerden stoom, moet nog eenige lucht worden uitgepompt; het inspuitingswater, namelijk, bevat altijd gewone dampkringslucht die, in het koelvat vrij wordende, eene drukking voortbrengt waardoor de werking van den stoom in den cilinder wordt tegengewerkt; wordt dus die lucht niet weggenomen, dan vult zij het koelvat op, en zou langzamerhand de werking van den stoom op den stoomzuiger geheel beletten. Bij eenen voortdurenden geregelden gang des werktuigs, drijft de luchtpomp het water, uit de inspuiting en condensatie van den stoom voortkomende, benevens een mengsel van stoom en lucht, uit het koelvat naar buiten; terwijl van de andere zijde, de inspuiting en de stoom uit den cilinder bij voortduring nieuw water, lucht en stoom aanvoeren. Wanneer dus alles in den toestand is gekomen, waarbij het werktuig gestadig dezelfde kracht uitoefent, dan zal de lucht-

pomp even zooveel water, lucht en stoom wegnemen, als door de inspuiting en den stoomcilinder wordt geleverd. Is derhalve de luchtpomp klein, dan zal de digtheid en dus de spanning van den stoom in het koelvat toenemen.

Bij elken slag van den zuiger der luchtpomp, is de ruimte boven dien zuiger, nagenoeg geheel met een mengsel van lucht en stoom gevuld, dewijl, zooals wij in de voorgaande berekening getoond hebben, het water slechts een zeer klein gedeelte van die ruimte inneemt. De spanning van dit mengsel is bij het begin der bovenwaartsche beweging van den zuiger dezelfde als de spanning in het koelvat; zij dan s de spanning der lucht in dit mengsel, en die van den stoom $p_{,,}$, dan is de totale spanning van het mengsel, dat de werking van den stoom op den stoomzuiger tegenwerkt, $p_{,,}+s$; zij verder b de inhoud van een' zuigerslag der luchtpomp, dan wordt bij elken slag eene hoeveelheid b lucht en stoom, onder de spanning $s+p_{,,}$, en dus eene hoeveelheid lucht b onder de spanning s uitgepompt. Is alzoo M de hoeveelheid lucht onder diezelfde spanning, door het inspuitingswater in dienzelfden tijd geleverd, dan moet, bij eenen geregelden gang des werktuigs, $M = b$ zijn. Eene hoeveelheid b onder de spanning s staat gelijk met eene hoeveelheid $\frac{s}{760}\,b$, onder de spanning van den dampkring, indien men de spanning s in strepen kwik uitdrukt; in het koelvat heeft die lucht eene temperatuur t'', derhalve komt de hoeveelheid $\frac{sb}{760}$ overeen met eene hoeveelheid:

$$\frac{sb}{760}\cdot\frac{1+\alpha t}{1+\alpha t''},$$

bij eene temperatuur t van het inspuitingswater; zijnde hier $\alpha = 0{,}00367$. Volgens waarnemingen van Ure en anderen, bevat het gewone water uit rivieren, wellen, enz. nagenoeg 0,05 van zijn volume aan lucht; indien er dus bij elken zuigerslag van de luchtpomp, Q cubiek ellen water worden ingespoten, dan wordt er tevens 0,05 Q cubiek ellen lucht binnengebragt. Wij hebben dus de vergelijking:

$$\frac{Q}{20} = \frac{sb}{760}\cdot\frac{1+\alpha t}{1+\alpha t''} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

Volgens § 98 zal voor P ponden stoom eene hoeveelheid ponden water van t graden noodig zijn, om den gecondenseerden stoom tot t'' graden te brengen, uitgedrukt door de formule:

$$\frac{650-t'}{t''-t}\,P,$$

en alzoo eene hoeveelheid cubiek ellen water, voorgesteld door:

$$Q=\frac{650-t''}{1000(t''-t)}\,P.$$

Is m het volume van den stoom die bij elken zuigerslag van den stoomzuiger gecondenseerd wordt, dan moet er voor elken slag der luchtpomp een volume $2m$ tot water overgaan; zij p' de spanning van dien stoom, dan weegt die hoeveelheid, § 97 formule (f):

$$\frac{2m(n+qp')}{10}=P;$$

wij hebben dan uit de voorgaande vergelijking:

$$Q=\frac{2m(n+qp')(650-t'')}{10\,000\,(t''-t)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\beta)$$

alsmede uit (α):

$$\frac{sb}{760}\cdot\frac{1+\alpha t}{1+\alpha t''}=\frac{m(n+qp')(650-t'')}{100\,000\,(t''-t)} \quad . \quad . \quad . \quad (\gamma);$$

waaruit men de spanning van de lucht in de luchtpomp en in het koelvat berekenen kan. Het blijkt al aanstonds dat de spanning s afneemt, naarmate de inhoud b van den zuigerslag der luchtpomp toeneemt, en dat er dus voordeel in het vergrooten dezer laatste gelegen is.

Maakte men de luchtpomp slechts juist zoo groot als [illegible] was om het inspuitingswater af te voeren, dan zou de lucht in het koelvat, na eenige slagen, dezelfde spanning verkrijgen als in den dampkring, omdat de luchtpomp dan enkel water en geen lucht afvoeren zou; het doel waartoe het koelvat wordt aangebragt, zou alzoo geheel verloren gaan.

Stelt men $b=\frac{1}{3}m$, $p'=15000$ pond, of gelijk aan eene stoomspanning van anderhalven dampkring, verder $t''=40°$ en $t=10°$, dan vindt men uit (γ), $s=6{,}4$ streep of minder dan een hon-

In deze vergelijking zou men, door de vergelijking (2), t'' of p'' kunnen verdrijven en alzoo de betrekking tusschen p' en p'' of tusschen p' en t'' kunnen bepalen. Het is echter gemakkelijker p'' of t'' te geven en daaruit de spanning p' van den stoom in den cilinder af te leiden, om op het voordeeligst gecondenseerd te worden.

§ 122. Stelt men in de laatste vergelijking der voorgaande §, $t = 10°$ als de gewone temperatuur van het inspuitingswater, $P = 760$ streep als de drukking van den dampkring, verder $t'' = 30°$ voor de temperatuur van het mengsel in het koelvat, waarmede overeenkomt, volgens de tafels van Pouillet (1), eene spanning p'' van 30,64 streep (de vergelijking (*a*), (§ 93) geeft 34,7 streep); dan vindt men uit de vergelijking (*c*), § 121, als men voor n en q de coëfficienten neemt in § 96 voor de drukking beneden twee dampkringen opgegeven, $p' = 13025$, bijna overeenkomende met de spanning van 1,3 dampkring. Deze spanning, zijnde omtrent die der gewone werktuigen van lage drukking, vereischt alzoo eene temperatuur van 30° in het koelvat, om op het voordeeligst gecondenseerd te worden.

Nemende $t'' = 35$ en alzoo $p'' = 40,4$ streep, al het overige hetzelfde latende, zoo vindt men $p' = 25976$, of nagenoeg 2,6 dampkring. De spanning van den stoom moet derhalve veel toenemen eer dat de voordeeligste temperatuur in het koelvat merkelijk verandert. Voor $t = 40$ en dus $p'' = 53$ strepen, vindt men $p'' = 50\,200$, of omtrent 5 dampkringen; en voor $t'' = 50°$ en alzoo $p'' = 88{,}742$, vindt men $p' = 133\,250$, of ruim 13 dampkringen, als men daarbij voor de waarde n en q diegene neemt, welke in § 96 voor drukkingen boven twee dampkringen zijn opgegeven.

Men zal derhalve, zonder grooten misslag, de beste temperatuur in het koelvat voor de lage en middelbare drukkingen tusschen 30 en 40 graden van den honderddeelingen thermometer kunnen stellen.

§ 123. In de voorgaande berekening hebben wij alleen het water, voortkomende uit de condensatie en inspuiting, beschouwd als de massa die door de luchtpomp in den dampkring moest worden overgebragt, en de lucht die met het inspuitingswater

(1) *Eléments de Physique*, I. p. 289, 6e édition.

§ 126. Het inspuitingswater wordt meestal geleverd uit een waterbak, waarin de geheele condensatietoestel wordt geplaatst, zooals de Fig. 16^a en 16^b voorstellen. Deze bak wordt gevuld door eene pomp *P*, *koudwaterpomp* geheeten, die veel meer water levert dan voor de inspuiting noodig is en door het overtollige water den condensatietoestel gedurig aan de buitenzijde afkoelt; dit overtollige water vloeit op eene geschikte plaats af.

§ 127. De drukking, door den stoom op den zuiger uitgeoefend en door dezen aan de zuigerstang medegedeeld, kan gebruikt worden tot het verrigten van arbeid; somtijds is daartoe het werktuig, of de last dien men bewegen wil, onmiddellijk aan de zuigerstang verbonden; somtijds zijn er nog eenige tusschendeelen aangebragt. Moet bijv. eene pomp bewogen worden, dan kan de zuigerstang van die pomp onmiddellijk aan de stoomzuigerstang verbonden worden; of wel doet men de zuigerstang aan het eene eind van een' hefboom werken, en den pompzuiger aan het andere einde. Moet er eene ronddraaijende beweging worden voortgebragt, dan kan men den stoomzuiger onmiddellijk door een trekstang verbinden aan den arm eener kruk, waardoor de regtlijnige heen- en weêrgaande beweging van den stoomzuiger, eene draaijende beweging aan de kruk geeft. Somtijds ook verbindt men de kruk aan eene staaf die door het eene einde van een' hefboom bewogen wordt, aan wiens ander einde de stoomzuiger werkt, zooals de Fig. 16^a en 16^b voorstellen.

§ 128. Om den toevoer uit den ketel naar den cilinder te matigen, wanneer er door te sterk stoken te veel geleverd wordt, is in de buis tusschen den ketel en cilinder ergens eene klep *U*, *smoorklep* geheeten, of eene kraan geplaatst, door wier beweging de toevoer geregeld wordt.

Deze klep of kraan wordt meestal door het werktuig zelf bewogen; daartoe is dan op eene geschikte plaats eenig raderwerk *V* of eene kruk geplaatst, waardoor eene verticale as *VW* snel rondbeweegt; aan deze as zijn twee slingers *ba*, *ba'* verbonden, die door de draaijende beweging der as *VW* meer of min van de verticale rigting afwijken, en alzoo door twee staafjes een' ring *W*, om de as gewerkt, meer of min opheffen. Aan dezen ring is, door middel van dunne staafjes *Wcst*, de smoorklep verbonden, die dan meer of min gesloten wordt, naarmate de snelheid van het werktuig de slingers meer of minder doet uiteenwijken.

De belemmering door de smoorklep voortgebragt, doet minder stoom onder den stoomzuiger komen; daardoor blijft er meer in den ketel, indien het vuur op dezelfde wijze wordt onderhouden; de spanning van den stoom in den ketel zal dus toenemen en eindelijk door de veiligheidskleppen ontsnappen.

§ 129. De beweging der stoomschuiven, waardoor de gang van het werktuig eigenlijk wordt onderhouden, geschiedt meestal, wanneer er eene ronddraaijende beweging bestaat, door middel van een zoogenaamd *excentriek*. Op de ronddraaijende as Z wordt namelijk eene cirkelvormige schijf Y bevestigd, wier middelpunt niet met dat van de as overeenkomt; deze schijf wordt omvat door een' ring ou, waaraan eene staaf uew is vastgemaakt. Het ander einde w dezer staaf vat op eenen gebogen hefboom of tuimelaar wxy, waaraan de stoomschuif door stangen $k'y'$, $k''y''$ (Fig. 16^b) is verbonden; draait het excentriek rond dan is het gemakkelijk in te zien, dat het ander einde w der staaf eene heen- en weêrgaande beweging verkrijgt, waardoor de stoomschuif de vereischte ruimte doorloopt. De staaf kan gemakkelijk uit hare verbinding met den tuimelaar geligt worden, als men de schuif uit de hand wil bewegen, hetzij om het werktuig in beweging te brengen of te doen stilstaan.

§ 130. Wanneer de stoomzuiger onmiddellijk aan eene kruk door eene trekstang is verbonden, dan wordt er aan het bovenëind der zuigerstang een rad of blok aangebragt, loopende tusschen vaste sporen, waardoor de stang belet wordt haren regtlijnigen gang te verlaten.

Is er een hefboom XX', waaraan de zuigerstang werkt, dan zou deze stang ook van den regtlijnigen gang moeten afwijken indien zij onmiddellijk aan den hefboom verbonden ware, en dit zou blijkbaar nadeelige wringingen van den zuiger in den cilinder en van de stang in de hennepdoos ten gevolge hebben.

Ten einde deze afwijkingen voor te komen, is door Watt het zoogenaamde *parallelogram* $A'B'C'D'$ aangebragt. De zijden $A'B'$, $B'C'$ en $C'D'$ zijn staven, om scharnieren of spillen beweeglijk; tot vierde zijde $A'D'$, dient een gedeelte van den hefboom zelven; aan het achterste hoekpunt B' is de zuigerstang verbonden, terwijl het voorste hoekpunt C' door eene staaf $C'E'$ om het vaste punt E' draait. Ter wederzijde van den hefboom is zulk een parallelogram $A'B'$ en $A''B''$ (Fig. 16^b) aangebragt, en in eene

dwarsstaaf $B''B'$, die de achterste gelijknamige punten der parallelogrammen verbindt, is de zuigerstang T van den stoomzuige bevestigd.

Meestal is de zuigerstang van de luchtpomp vastgemaakt na eene dwarsstaaf G', die op de lijn uit B', naar het steunpunt des hefbooms getrokken, is gelegen; indien alsdan B' eene regt lijn beschrijft, zal G' zulks ook doen en daardoor alle wringin van den zuiger in de luchtpomp voorkomen. Omtrent de betrekkelijke grootte der deelen van het parallelogram, zal men opdat het punt B' nagenoeg eene regte lijn beschrijve, in § 22 en volgende de noodige opheldering vinden.

§ 131. Het kan geen zwarigheid hebben de drukkingen op onderscheidene steunpunten in een stoomwerktuig na te gaan zoodra de drukking van den stoom op den zuiger bekend is; doch men merke daarbij op, dat door de werking van den stoom beurtelings onder en boven den zuiger, ook de rigting der drukking op de meeste steunpunten verandert. Werkt bijv. de stoom op de bovenzijde van den zuiger, dan ontstaat er tegen den onderkant van het deksel des stoomcilinders eene drukking, gelijk aan de drukking op den zuiger. Deze drukking tracht in de eerste plaats het deksel van den cilinder af te scheuren; derhalve moeten de schroeven, waardoor dit belet wordt, den vereischten tegenstand bezitten. In de tweede plaats tracht deze drukking den geheelen stoomcilinder op te ligten; is dus het gewigt van den cilinder met de daaraan verbondene deelen, niet zoo groot als deze drukking, dan moet de cilinder stevig genoeg aan den grond bevestigd wezen, om dit opligten voor te komen. Wanneer, omgekeerd, de stoom onder den zuiger werkt, dan wordt de bodem des cilinders tegen den grond gedrukt; die grond ondergaat behalve de drukking door het gewigt der deelen voortgebracht ook eene drukking gelijk aan die op den zuiger; tegen deze eenigde drukking moet de grond bestand zijn.

Wordt de werking van den stoom, door middel van een[e] [stang], zooals in Fig. 16, overgebragt, dan ondergaan de [hef]bomen, eene drukking gelijk aan de som der druk[king] op de beide einden des hefbooms; gaat de zuiger op[waarts] de rigting der drukking op de steunpunten van b[eide] boven, en omgekeerd, als de zuiger benedenwaarts [gaat] de inrigting der tappannen en hare bevestiging op d[e]

den zuiger en den bodem des cilinders over te laten, welke speli
wanneer er geene kruk bewogen wordt, maar bijv. pompen, w
slag niet zoo volkomen kan geregeld worden, merkelijk wo
vergroot. De inhoud der speling en van de ruimte tusschen
stoomschuif en den cilinder, vult zich dus bij elken slag met sto
op, die bij den volgenden slag wordt gecondenseerd; deze be
inhouden zou men te zamen gelijk kunnen stellen aan den
houd van een cilinder, die dezelfde dwarsdoorsnede a had
de stoomcilinder, en waarvan de hoogte c berekend kan worde
uit de speelruimte en uit de ruimte bij de stoomschuiven. Is d
l de lengte van den zuigerslag, dan is de hoeveelheid stoom b
dien slag verbruikt $a(l+c)$.

Is de zuigerstang aan eene kruk verbonden, en alzoo de bewe
ging van die stang door de lengte van den arm der kruk volko
men bedwongen, dan kan men $c=\frac{1}{10}l$ stellen; doch is de be
weging van den zuiger niet op deze wijze geregeld, dan neem
men $c=\frac{1}{10}l$.

Het stoomwerktuig in beweging zijnde en daarbij zekeren la
opheffende of eenigen bepaalden tegenstand overwinnende, z
eenen regelmatigen gang aannemen, wanneer alles behoorlijk ge
regeld is. De snelheid van elk der deelen zal daarom niet vo
maakt eenparig zijn, want de zuiger zal bijv. in zijne uiters
standen eene snelheid $=0$ hebben, terwijl hij in het overige ge
deelte van zijne baan eene telkens afnemende of toenemend
snelheid bezit; doch wanneer hij voor de tweede maal hetzelf
punt van den cilinder bereikt, heeft hij ook dezelfde snelheid
indien alles hetzelfde is gebleven; of wel, zoo dit geen pla
heeft, zal de snelheid toe- en afnemen, en alzoo nu eens groot
en dan eens kleiner zijn dan de gemiddelde snelheid. Deze kle
afwijkingen daargelaten, zal men de beweging van het werkt
in tijdperken kunnen afdeelen, bij welker begin en einde de sn
heid van den zuiger, en dus van al de deelen des werktuig
volmaakt dezelfde is. Gedurende dit tijdvak is dan de arbeid v
de kracht gelijk aan dien op den last overgebragt, opgeteld
den arbeid vereischt tot het overwinnen der wrijvingen en tege
standen van het werktuig.

Laat de tegenstand door den last, de wrijvingen enz. veroo
zaakt, door eene drukking R op de vierkante eenheid van d
stoomzuiger worden voorgesteld, dan zal de totale drukking z

aR, en het is deze drukking, die bij elken slag een' arbeid alR vereischt, door den stoom te overwinnen.

§ 134. Indien nu de vuurhaard in staat is om in elke eenheid van tijd S cubiek el water tot stoom te brengen, dan zal er, zoo de spanning van den stoom in den ketel P ponden op de vierkante el is, eene hoeveelheid van $\frac{S}{n+qP}$ cubiek el stoom onder de spanning P geleverd worden (§ 97), waarin, daar wij hier stoom van lage drukking onderstellen:

$$n = 0{,}000\ 042\ 27, \text{ en } q = 0{,}000\ 000\ 052\ 9 \text{ moet zijn.}$$

De gemiddelde spanning van den stoom in den cilinder is echter kleiner, wijl er anders geene overvloeijing van stoom uit den ketel naar den cilinder kan plaats hebben.

De spanning in den cilinder moet gedurende elken zuigerslag evenveel arbeid opleveren als de wederstand R; neemt men dus gedurende elken geheelen zuigerslag eene middelbare stoomspanning P′ in den cilinder aan, dan moet $lP' = lR$ of $P' = R$ zijn. Was de arbeid van de spanning P′ grooter of kleiner dan die van R, dan zou het werktuig versnellen of vertragen, hetgeen tegen de gemaakte onderstelling strijdt.

Werkt de stoom gedurende een gedeelte van den zuigerslag door uitzetting, dan is de stoomspanning in den cilinder gedurende elken geheelen slag veranderlijk: zij moet dus gedurende één gedeelte van den slag grooter, en gedurende een ander gedeelte kleiner dan de wederstand R zijn.

§ 135. De arbeid van den stoom bij de uitzetting, kan men als volgt berekenen: zij l' de lengte van den slag, voor zoover er geene afsluiting en dus geene uitzetting plaats heeft, dan is de arbeid van den stoom voor het gedeelte l' van den zuigerslag $aP'l'$, en de hoeveelheid stoom daartoe verbruikt $a(l'+c)$. Is nu de zuiger een' afstand x verder gegaan of eene totale lengte $l'+x$ doorgeloopen, dan is dezelfde massa stoom, die te voren eene ruimte $a(l'+c)$ innam, gekomen in eene ruimte $a(l'+c+x)$ en blijft daarbij de ingenomen ruimte verzadigen (§ 95). Stelt men $l'+c+x=z$, dan staan die beide ruimten tot elkander als $l'+c : z$, de daarmede overeenkomstige spanningen P′ en P″ van den stoom worden aangewezen door de formule (d′) van § 96, derhalve heb-

ben wij dan:

$$\frac{z}{l'+c} = \frac{n+qP'}{n+qP''};$$

waaruit men heeft:

$$P'' = \frac{(l'+c)(n+qP')}{qz} - \frac{n}{q}.$$

Doorloopt de zuiger verder eene lengte $\partial x = \partial z$, dan is de arbeid in dien tijd:

$$aP''\partial z = \frac{a(l'+c)(n+qP')}{qz}\partial z - \frac{an}{q}\partial z;$$

deze waarde geïntegreerd tusschen de grenzen $z = l+c$ en $z = l'+c$, geeft voor den arbeid gedurende het doorloopen van den afstand $l-l'$:

$$\frac{a(l'+c)(n+qP')}{q}\text{Nep. log.}\frac{l+c}{l'+c} - \frac{an}{q}(l-l').$$

Hierbij gevoegd de arbeid van den nog niet uitgezetten stoom $al'P'$, zoo heeft men voor den totalen arbeid bij eenen slag:

$$\frac{a(l'+c)(n+qP')}{q}\text{N. log.}\frac{l+c}{l'+c} - \frac{an}{q}(l-l') + al'P'$$

$$= \frac{a(l'+c)(n+qP')}{q}\text{N. log.}\frac{l+c}{l'+c} + \frac{a(n+qP')l'}{q} - \frac{anl}{q}.$$

Alzoo hebben wij dan voor den arbeid, door den wederstand R gedurende eenen zuigerslag:

$$alR = \frac{a(l'+c)(n+qP')}{q}\left\{\frac{l'}{l'+c} + \text{N.log.}\frac{l+c}{l'+c}\right\} - \frac{anl}{q} \quad . \quad . \quad (4).$$

§ 136. De ketel eene hoeveelheid stoom $\frac{S}{n+qP}$ onder de spanning P in eene eenheid van tijd leverende (§ 134), geeft eene hoeveelheid $\frac{S}{n+qP'}$ onder de spanning P', formule (d') (§ 96); maar bij elken slag wordt er eene hoeveelheid $a(l'+c)$ onder de spanning P' verbruikt; indien er dus m slagen in de eenheid van tijd plaats hebben, dan doorloopt de zuiger eene lengte ml, derhalve is de verbruikte hoeveelheid stoom in de eenheid van tijd $am(l'+c)$,

of indien men de snelheid van den zuiger $= v$ stelt en alzoo $ml = v$ neemt, is de verbruikte hoeveelheid ook $\frac{av}{l}(l'+c)$. Maar bij eenen regelmatigen gang des werktuigs, zooals wij dien hier onderstellen, moet de ketel juist zóóveel stoom leveren als er door den cilinder verbruikt wordt; wij hebben dus:

$$\frac{av}{l}(l'+c) = \frac{S}{n+qP'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

De waarde van $n+qP'$ in (1) stellende, komt er

$$aR = \frac{S}{qv}\left\{\frac{l'}{l'+c} + N \log.\frac{l+c}{l'+c}\right\} - \frac{an}{q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Werkt de stoom zonder uitzetting, dan heeft men in de voorgaande formulen slechts $l' = l$ te stellen, en dan vindt men uit (1) $R = P'$ zooals behoort, alsmede uit (2)

$$\frac{av}{l}(l+c) = \frac{S}{n+qP'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

§ 137. De kracht aR, die op den stoomzuiger in evenwigt is met den last en met de verdere tegenstanden van het werktuig, kan men in twee deelen verdeeld rekenen: Een gedeelte ar houdt op den zuiger den nuttigen last in evenwigt, terwijl het gedeelte $a(R-r)$ de kracht voorstelt, die op den stoomzuiger met de wrijvingen en tegenstanden van het werktuig in evenwigt is. Wij zullen die tegenstanden wat nader beschouwen.

In de eerste plaats bestaat er in het koelvat altijd eenige spanning, dewijl de stoom wel afgekoeld, maar niet geheel vernietigd wordt; de temperatuur t'' van het mengsel water en stoom in het koelvat, wordt gevonden uit de formule (*a*) van § 121, wanneer men de hoeveelheid water kent die door de inspuiting wordt geleverd; uit die temperatuur kent men dan de spanning p van dien stoom (§ 93), terwijl men bij eene behoorlijk ingerigte luchtpomp, de spanning der lucht door het inspuitingswater in den condensor gebragt, kan verwaarloozen (§ 120).

Evenwel zal de spanning die in den cilinder, aan de zijde der condensatie, de drukking van den stoom uit den ketel tegenwerkt, nog wat grooter zijn dan in het koelvat zelf, even als de spanning in den ketel grooter is dan tegen den zuiger; het is dus die

meerdere spanning van den stoom tegen den zuiger, die wij door p zullen voorstellen, en die eigenlijk door waarneming dient gevonden te worden; wij stellen dan voor den tegenstand van den ongecondenseerden stoom ap. Die spanning p zal echter niet zeer veel van die in het koelvat bij de luchtpomp verschillen, omdat een gering verschil van drukking reeds eene vrij groote snelheid geeft (Hydrodynamica § 134).

Verder is er tot overwinning van de wrijvingen der zuigers, het bewegen der schuiven, het uitpompen van het inspuitingswater enz., eene zekere kracht op den zuiger noodig, die wij door af kunnen voorstellen; deze kracht verandert niet bij het vermeerderen of verminderen van den last. Daarentegen zal de wrijving op den hefboom en de kruk, of algemeen op het zamenstel waardoor de last geheven of overwonnen wordt, met den last vermeerderen, daar de wrijvingen met de drukkingen op de steunpunten toenemen; de wederstand der wrijvingen, op den stoomzuiger overgebragt, kan door $ar\delta$ worden voorgesteld, en alzoo de totale wederstand op elke eenheid door

$$R = p + f + r(1 + \delta);$$

zullende in het algemeen bij een zelfde soort van werktuig de waarden van p, f en δ nagenoeg standvastig zijn. Evenwel zal, wanneer de waarde van a verandert, in het algemeen die van f niet volkomen dezelfde blijven; want de waarde van f hangt gedeeltelijk af van de wrijvingen der zuigers in de cilinders, en die wederstanden worden kleiner in reden van de middellijnen, terwijl a in de vierkante reden dier middellijn afneemt; het gedeelte der waarde van f, die deze wrijving voorstelt, neemt dus toe bij kleine middellijnen; een ander gedeelte van f, betrekkelijk de wrijving der schuiven, stangen, enz., den wederstand der persen luchtpomp en verdere toestellen, blijft nagenoeg dezelfde, indien bij veranderde middellijn des stoomcilinders de verbruikte stoom dezelfde blijft; de waarde van f vermeerdert dus in het algemeen als a vermindert.

§ 138. De zoo even gevonden waarde van R in de formule (3) van § 136 stellende, zoo vindt men daaruit:

$$ar = \frac{S}{vq(1+\delta)}\left(\frac{l'}{l'+c} + \text{N.log.}\frac{l+c}{l'+c}\right) - \left(\frac{n}{q} + p + f\right)\frac{a}{1+\delta},$$

of wel, nemende

$$\frac{l'}{l+c}+\text{N.log.}\frac{l+c}{l'+c}=k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

$$ar=\frac{Sk-\{n+q(p+f)\}av}{vq(1+\delta)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5);$$

waaruit de nuttige last ar gevonden wordt, zoodra de hoeveelheid stoom, door den ketel geleverd, en de snelheid v van den zuiger bekend is. Deze formule komt dus overeen met die welke bij de waterraderen den last geeft, als de hoeveelheid afgevloeid water en de snelheid van het rad gegeven zijn. De waarde van S is hier de maat van de kracht des werktuigs, als zijnde de hoeveelheid stoom in de eenheid van tijd geleverd.

In den tijd waarin de hoeveelheid S wordt voortgebragt, doorloopt de zuiger eene lengte v, de voortgebragte arbeid is dus arv, en alzoo heeft men voor den arbeid uit S cubiek el water tot stoom gebragt:

$$M=arv=\frac{Sk-\{n+q(p+f)\}av}{q(1+\delta)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

of wel, hierin voor v zijne waarde uit (2), § 137, stellende:

$$M=\frac{S}{q(1+\delta)}\left\{k-\frac{n+q(p+f)}{n+qP'}\cdot\frac{l}{l'+c}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

§ 139. De last ar door het werktuig te heffen, zal toenemen (verg. (5) § 138) wanneer v of de snelheid des zuigers afneemt, S dezelfde blijvende; doch daarom is ar evenwel niet oneindig voor $v=0$, zooals uit de formule (5) schijnt te volgen; want in dat geval staat de zuiger stil, en kan de hoeveelheid S niet verstoomd worden, dewijl er dan eigenlijk in het geheel geen stoom verbruikt wordt. Bleef dus de ketel bij voortduring stoom leveren, dan zou de spanning in den ketel en cilinder onophoudelijk toenemen, en eindelijk zou òf de ketel vaneenscheuren, òf er zou evenveel stoom door de veiligheidskleppen ontwijken, als er door het vuur zou worden voortgebragt; welke gevallen wij niet te beschouwen hebben, dewijl in een goed geregeld werktuig, geen stoom door de veiligheidskleppen moet ontsnappen.

Zoodra uit de afmetingen van een stoomwerktuig a bekend en de snelheid v gegeven is, dan is uit de hoeveelheid stoom S in

de tijdseenheid verbruikt, de spanning P′ van den stoom te be rekenen, door de formulen (2) of (4) van § 136, al naarmat de stoom met of zonder uitzetting werkt. Is omgekeerd, d spanning P′ bekend, waarboven men in het gegeven werktuig wegens de inrigting der ketels of anderzins, niet gaan mag, da zal ook uit die formulen de snelheid te berekenen zijn, waar be neden men niet komen kan, zonder een gedeelte stoom door de veiligheidskleppen te doen ontsnappen. De spanning P′ in den cilinder altijd kleiner zijnde dan de spanning P in den ketel, zoo zal men eigenlijk nog iets boven de aangewezen snelheid moeten blijven, hoewel meestal niet veel, omdat een gering verschil van spanning reeds eene aanmerkelijke snelheid aan den stoom levert (Hydrodynamica § 134).

§ 140. De kleinste snelheid waarbij eenig werktuig kan werken en evenwel de hoeveelheid S verbruiken, zou die zijn, alwaar de stoom in den cilinder nagenoeg dezelfde spanning had als in den ketel, zonder daarbij tevens stoom door de veiligheidskleppen te verliezen. Die gelijkheid van spanning zal wel nooit volkomen plaats hebben, doch bij geringe snelheden is het verschil niet noemenswaardig. Indien dan P de grootste spanning is die in de ketel kan bestaan, zonder de veiligheidskleppen te openen, zo zal door $P' = P$ te nemen in (2) en (3) (§ 136), de grootste last R gevonden worden, waarmede het werktuig mag belast worden daaruit heeft men dan:

$$R = \frac{(l'+c)(n+qP)k-nl}{lq} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8$$

of voor R zijne waarde uit § 137 stellende:

$$r = \frac{(l'+c)(n+qP)k-\{n+q(p+f')\}l}{q(1+\delta)l} \quad . \quad . \quad . \quad (9$$

De snelheid v', waarmede deze beweging plaats heeft en die tevens de kleinste is waarmede het werktuig regelmatig werken is uit (2), § 136:

$$v' = \frac{Sl}{a(l'+c)(n+qP)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10$$

Derhalve is het maximum van arbeid uit de massa water S bij gegeven spanning in den ketel en bij gegeven uitzetting in de

ilinder :

$$M' = arv' = \frac{S}{q(1+\delta)}\left\{k - \frac{n+q(p+f)}{n+qP} \cdot \frac{l}{l'+c}\right\} \quad . \quad (11).$$

§ 141. Naarmate de uitzetting of de betrekking van l en l' verandert, zal het maximum van arbeid uit de voorgaande vergelijking ook veranderen; de voordeeligste uitzetting wordt gevonden door de waarde van l' te zoeken, die het tweede lid tot een maximum maakt. Voor k zijne waarde uit (a) (§ 138) stellende, vindt men door de bekende regels:

$$\frac{l}{l'} = \frac{n+qP}{n+q(p+f)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12);$$

terwijl blijkbaar uit (7) (§ 104) voor de betrekking der voordeeligste uitzetting eveneens:

$$\frac{l}{l'} = \frac{n+qP'}{n+q(p+f)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

zoude gevonden zijn; waarin P' de spanning van den stoom in den cilinder aanwijst.

De betrekking van l tot l' in (12) en (13) is juist die eener zelfde massa stoom onder de spanningen $p+f$ en P of P'; zoodra men dus deze betrekkingen gevonden heeft is de voordeeligste uitzetting bekend. De waarde van l' in de formule (7) (§ 138) en (11) (§ 140) substituerende, vindt men in beide gevallen voor het maximum van arbeid:

$$M' = \frac{S}{q(1+\delta)}\left(k - \frac{l'}{l'+c}\right) = \frac{S}{q(1+\delta)} \text{N. log.} \frac{l+c}{l'+c} \quad . \quad (14).$$

Gebruikt men in deze formule voor l' zijne waarde uit (12), dan vindt men het volstrekte maximum van arbeid dat de stoom leveren kan, zonder in den ketel de spanning P te overtreffen. Gebruikt men daarentegen voor l' de waarde uit (13), dan vindt men het maximum van arbeid voortgebragt onder eene bepaalde snelheid v van den zuiger, waarbij de spanning in den cilinder, P' niet te boven komt.

Het blijkt uit de hier gevonden vergelijkingen, dat bij eene bepaalde hoeveelheid stoom, de arbeid niet afhangt van den inhoud a der dwarsdoorsnede van den stoomcilinder, dewijl die waarde niet in de vergelijkingen voorkomt, indien men namelijk f standvastig stelt, hetgeen eigenlijk (§ 137) het geval niet is.

§ 142. Men is gewoon het vermogen of den arbeid der stoomwerktuigen in paardenkrachten (§ 43) voor te stellen; indien men dus in de voorgaande formulen de minuut als tijdeenheid aanneemt en alzoo door S de hoeveelheid water, door den ketel in de minuut tot stoom gebragt, en door v de snelheid des zuigers in de minuut voorstelt, dan zal het aantal paardenkrachten, door eenig werktuig alwaar de stoom bij uitzetting werkt, zijn (6) (§ 138):

$$Q = \frac{Sk}{4500q(1+\delta)} - \frac{av\{n+q(p+f)\}}{4500q(1+\delta)} \quad . \quad . \quad (15).$$

Werkt de stoom zonder uitzetting, dan is $k = \frac{l}{l+c}$ en derhalve:

$$Q = \frac{Sl}{4500q(l+c)(1+\delta)} - \frac{av\{n+q(p+f)\}}{4500q(1+\delta)} \quad . \quad . \quad (16).$$

Indien men in de formule (15) voor $\frac{l'}{l}$ zijne waarde uit (13) (§ 141) stelt, dan vindt men het grootste getal paardenkrachten waarvoor het werktuig met de snelheid v uit (2) (§ 136) vatbaar is. Doch neemt men uit (10) (§ 140) de waarde van v, en de waarde van $\frac{l}{l'}$ uit (12) (§ 141), dan vindt men het volstrekte maximum van vermogen des werktuigs bij een gegeven stoomvermogen S en spanning P in den ketel.

Is nu eindelijk N het getal ponden steenkolen, waarmede een cubiek el water tot stoom wordt gebragt, dan zal NS het aantal ponden steenkolen, voor het werktuig per minuut vereischt, aanwijzen.

§ 143. De hier ontwikkelde formulen, die het eerst door den Ingenieur Pambour (1) zijn gegeven, kunnen dienen tot de berekening der voornaamste bijzonderheden die men bij het ontwerpen van stoomwerktuigen noodig heeft.

Voor de werktuigen die zonder uitzetting werken, geeft de formule (6) (§ 137):

$$R = P' = (1+\delta)r + p + f \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

of de spanning P' van den stoom in den cilinder, zoodra de druk-

(1) *Théorie de la machine à vapeur.*

king r op de vierkante eenheid, die op den zuiger met den last of nuttigen wederstand evenwigt maakt, bekend is.

De spanning P′ in den cilinder en de dwarsdoorsnede van dezen gegeven zijnde, benevens de snelheid v waarmede men den zuiger wil laten werken, zoo kan men uit de formule (4) (§ 136) S of de hoeveelheid water vinden, die in de minuut door den ketel tot stoom moet gebragt worden. Of wel, is het getal paardenkrachten van het werktuig bekend, dan geeft de formule (16) (§ 142) de hoeveelheid water S die in de minuut moet verdampt worden; terwijl men ook, omgekeerd, uit de hoeveelheid S en de snelheid van den zuiger, den last ar uit (5) (§ 136) vinden kan. De grootste uitwerking die men bij eene gegeven spanning P in den ketel, uit een gegeven vermogen van verstooming S kan verkrijgen, wordt gevonden door de formule (11) (§ 140), mits aldaar $l' = l$ stellende, omdat er geene uitzetting is, en dus door

$$M' = \frac{Sl(P - f - p)}{(l+c)(1+\delta)(n+qP)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18).$$

De snelheid waarmede de zuiger alsdan beweegt, vindt men uit (10) (§ 140), door aldaar mede $l' = l$ te stellen, en dus door

$$v' = \frac{Sl}{a(l+c)(n+qP)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19).$$

Uit de hoeveelheid verstoomd water S is onmiddellijk de hoeveelheid steenkolen bekend, volgens het opgegevene in § 99.

Werkt de stoom bij uitzetting, dan zal de waarde van ar uit de formule (5) (§ 138), de nuttige drukking op den zuiger doen kennen, die men bij eene gegeven snelheid en een gegeven stoomgevend vermogen S van den ketel, kan verkrijgen. De stoomspanning P′ in den cilinder, zoo lang deze in gemeenschap met den ketel blijft, wordt gevonden door de formule (2) (§ 136).

Het verlangde getal paardenkrachten gegeven zijnde, zoo zal de formule (15) de betrekking tusschen de snelheid, de dwarsdoorsnede van den zuiger en het stoomgevend vermogen van den ketel geven.

Wil men bij gegeven uitzetting en spanning in den ketel, het grootste vermogen van het werktuig kennen, dan heeft men de formule (18) slechts toe te passen; de snelheid van den zuiger wordt alsdan door de formule (10) (§ 140) aangewezen.

De voordeeligste betrekking tusschen het gedeelte l' van den zuigerslag, alwaar de stoom in gemeenschap met den ketel blijft, en den geheelen zuigerslag l, wordt gegeven door de formule (13) (§ 141); terwijl de arbeid van het werktuig gevonden wordt door de formule (18). Gebruikt men daarbij tevens de voordeeligste snelheid, dan wordt de betrekking van l' tot l uit (12) (§ 141) gevonden, de snelheid van den zuiger uit (10) (§ 140), en de arbeid uit (18).

§ 144. De standvastigen p, f en δ in deze formulen voorkomende, moeten door proefneming bepaald worden. Hiertoe zou men, bij voorbeeld, het werktuig kunnen doen werken zonder last, en tevens het vuur zoodanig matigen, dat het werktuig slechts even in beweging bleef, zoodat alsdan de spanning van den stoom in den ketel bijna dezelfde als in den cilinder was, en alzoo de stoom met zijn grootste vermogen werkte; de spanning alsdan P'' zijnde, zou men hebben uit (9) (§ 140), door aldaar $r=0$ en $P=P''$ te stellen:

$$f=\frac{(n+qP'')\,k\,(l'+c)}{ql}=\frac{n}{q}-p. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha),$$

waarbij echter valt op te merken, dat de hier bepaalde wrijving bij grooter snelheid wel iets zal vermeerderen, omdat daaronder begrepen is de wrijving bij de beweging van zuigers die door het water gaan en wier tegenstand bij grootere snelheid zal toenemen.

Belast men, als tweede proef, het werktuig zóó sterk, dat het bij eene gegeven spanning P''' wederom maar even beweegt, dan zal die last r'' weder een maximum voortbrengen, omdat de spanning onder den cilinder en ketel bijna niet zal verschillen; de formule (9) (§ 140) geeft dan;

$$ar''=\frac{a(l'+c)\,(n+qP''')\,k}{q\,(1+\delta)\,l}-\left(\frac{n}{q}+p+f\right)\frac{a}{1+\delta},$$

en alzoo:

$$1+\delta=\frac{(l'+c)\,(n+qP''')\,k}{r''ql}-\left(\frac{n}{q}+p+f\right)\frac{1}{r''} \quad . \quad . \quad . \quad (\beta).$$

De waarde van p, eindelijk, zal door waarneming moeten gevonden worden; daartoe zal, zoo digt mogelijk aan den stoomcilinder, de zoogenaamde stoommeter van Watt (§ 187) of eenig dergelijk

werktuig moeten gesteld worden. Hiertoe kan dienen het werktuig in § 125 voor het koelvat beschreven.

Het ontbreekt tot nu toe aan waarnemingen zooals de hier beschrevene, waaruit men de coëfficienten in de formulen voor de stoomwerktuigen van lage drukking kan bepalen. De Heer Pambour meent uit eenige proefnemingen met werktuigen van hooge drukking, dat men bij kleine werktuigen $f = 1,5$ pond op den vierkanten duim (Engelsche maat) kan nemen, en bij groote werktuigen $f = 0,5$; verder $\delta = 0,14$ en $p = 4$ pond op den vierkanten duim. Dit komt overeen met $f = 0,105$ pond op den vierkanten nederlandschen duim bij kleine werktuigen, op $f = 0,035$ pond op den vierkanten nederlandschen duim voor groote werktuigen en, met $p = 0,2811$ pond op den vierkanten nederlandschen duim. Eindelijk kan bij het berekenen der voorgaande formulen de volgende tafel dienen, overgenomen uit Pambour (1), bevattende eenige waarden van $\frac{l}{l'+c}$ en van k voor gegeven waarden van $\frac{l}{l'}$, waarbij $= 0,05\,l$ is genomen.

(1) *Théorie de la machine à vapeur.*

Waarde van $\frac{l'}{l}$	Waarde van $\frac{l}{l'+c}$	Waarde van $k=\frac{l}{l+c}+\log\frac{l+c}{l'+c}$	Waarde van $\frac{l'}{l}$	Waarde van $\frac{l}{l'+c}$	Waarde van $k=\frac{l}{l+c}+\log\frac{l+}{l'+}$
0,10	6,667	2,613	0,51	1,786	1,539
0,11	6,250	2,369	0,52	1,754	1,523
0,12	5,882	2,526	0,53	1,724	1,507
0,13	5,556	2,485	0,54	1,695	1,491
0,14	5,263	2,446	0,55	1,667	1,476
0,15	5,000	2,408	0,56	1,639	1,461
0,16	4,762	2,371	0,57	1,613	1,445
0,17	4,546	2,336	0,58	1,587	1,431
0,18	4,348	2,301	0,59	1,563	1,417
0,19	4,167	2,268	0,60	1,539	1,402
0,20	4,000	2,235	0,61	1,515	1,388
0,21	3,846	2,203	0,62	1,493	1,374
0,22	3,704	2,173	0,63	1,471	1,361
0,23	3,571	2,142	0,64	1,449	1,347
0,24	3,448	2,114	0,65	1,429	1,334
0,25	3,333	2,085	0,66	1,409	1,321
0,26	3,226	2,059	0,67	1,389	1,308
0,27	3,125	2,032	0,68	1,370	1,295
0,28	3,030	2,006	0,69	1,351	1,282
0,29	2,941	1,980	0,70	1,333	1,269
0,30	2,857	1,955	0,71	1,316	1,257
0,31	2,778	1,931	0,72	1,299	1,240
0,32	2,703	1,908	0,73	1,282	1,233
0,33	2,632	1,884	0,74	1,266	1,221
0,34	2,564	1,862	0,75	1,250	1,210
0,35	2,500	1,840	0,76	1,235	1,197
0,36	2,439	1,818	0,77	1,220	1,186
0,37	2,381	1,797	0,78	1,205	1,175
0,38	2,326	1,776	0,79	1,191	1,164
0,39	2,273	1,755	0,80	1,177	1,152
0,40	2,222	1,736	0,81	1,163	1,141
0,41	2,174	1,716	0,82	1,149	1,131
0,42	2,128	1,697	0,83	1,136	1,119
0,43	2,083	1,678	0,84	1,123	1,109
0,44	2,041	1,660	0,85	1,111	1,099
0,45	2,000	1,642	0,86	1,099	1,088
0,46	1,961	1,624	0,87	1,087	1,078
0,47	1,923	1,606	0,88	1,075	1,067
0,48	1,887	1,589	0,89	1,064	1,057
0,49	1,852	1,572	0,90	1,053	1,047
0,50	1,818	1,555			

§ 145. Om een voorbeeld ter toepassing van de hier ontwikkelde formulen te geven, zullen wij de hoeveelheid water berekenen voor een werktuig van 10 paardenkracht, werkende zonder uitzetting. Dit werktuig onder de kleine tellende, zoo stellen wij voor de vierkante el $f=1050$ pond, $p=2811$ pond en $\delta=0{,}14$. Volgens de tafel van § 109 kan men voor de middellijn van een stoomcilinder voor 10 paarden, nemen 0,444 el en eene snelheid van 1,015 el in de seconde. Het werktuig van 10 paarden zijnde, zoo hebben wij in (16) (§ 142) $Q=10$; de middellijn 0,444 geeft voor den inhoud a van de oppervlakte des zuigers 0,15483 vierkante el; met deze waarden, en $v=60{,}9$ el, hebben wij uit: $4500\,Q=M=arv$, $r=4772{,}4$ pond, en alzoo uit (16) (§ 142), $S=0{,}00529$ cubiek el of 5,29 pond water in de minuut, zijnde $c=0{,}05$ l genomen. De vuurhaard van het werktuig moet dus in staat zijn om in de minuut 5,29 pond water tot stoom te brengen. De spanning P' van den stoom in den cilinder moet zijn (17) (§ 143):

$$P'=(1+\delta)r+f+p=9301{,}5 \text{ pond op de vierkante el;}$$

alzoo nagenoeg de spanning van één dampkring; de stoom in den ketel behoeft dus die spanning ook niet veel te overtreffen, dewijl de snelheid v niet zeer groot is.

Vergelijkt men de waarde van P' met de nuttige drukking r, dan blijkt, dat om eene nuttige drukking van 4772,2 te hebben, de stoom eene drukking van 9301,5 pond moet leveren; hier gaat alzoo door de wrijving en verdere tegenstanden de helft der drukking verloren.

Volgens § 106 kan men met Roerkolen op 7 pond stoom uit een pond steenkolen rekenen; alzoo zal dan, door nagenoeg 0,7 pond steenkolen per minuut te verstoken, een werktuig van 10 paarden aan den gang blijven, of omtrent 0,07 pond per paard.

Stelt men de spanning van den stoom in den ketel op anderhalven dampkring of $P=15000$ pond, dan vindt men uit (19) (§ 143) voor de snelheid v', waarmede het maximum van uitwerking verkregen wordt: 38,96 el in de minuut, en uit (18) (§ 143) voor het maximum $Q=\frac{M'}{4500}=13{,}08$ paarden. De vermindering van snelheid moet dus zeer aanmerkelijk zijn eer de vermeerdering van arbeid van belang wordt.

§ 146. Ten einde het verkregen voordeel, door den stoom met uitzetting te doen werken, na te gaan, zullen wij onderstellen dat in een werktuig van dezelfde afmetingen als hiervoren, alwaar de stoomzuiger dezelfde snelheid van 60,9 el in de minuut heeft en wiens vuurhaard in de minuut 0,00529 cubiek el water tot stoom brengt, zoodanig is ingerigt, dat de stoom slechts gedurende een vierde gedeelte van den zuigerslag in den cilinder vloeit, en gedurende het overige gedeelte in den ketel afgesloten blijft. Wij hebben dan ter toepassing van de formule (15) (§ 142) dezelfde waarden als hiervoren voor de letters in het tweede lid, alsmede $l' = 0{,}25\,l$ of $k = 2{,}085$. Met deze waarden heeft men uit (15) (§ 142):

$$\frac{4500}{M} = 32{,}08 \text{ paarden.}$$

Het werktuig kan dus met dezelfde hoeveelheid stoom en brandstof ruim driemaal zooveel werk verrigten; waaruit ten duidelijkste het aanzienlijk voordeel blijkt van den stoom bij uitzetting te doen werken. Dewijl de vuurhaard in denzelfden tijd dezelfde hoeveelheid stoom blijft leveren als vroeger, en de stoom slechts gedurende een gedeelte van den zuigerslag wegvloeit, zoo moet, bij gelijke snelheid van den zuiger, de spanning van den stoom merkelijk toenemen, zoo in den ketel als in den cilinder, zoo lang deze met den ketel in gemeenschap blijft. Deze laatste spanning P' is gemakkelijk uit de formule (2) (§ 136) te berekenen, terwijl daarin, behalve P', alles bekend is. Stellende dan in die formule $S = 0{,}00529$, $l' = 0{,}25\,l$, dan vindt men daaruit $P' = 35770$ pond voor de drukking op de vierkante el; de spanning van den stoom is dus nagenoeg 3,5 dampkring en het werktuig wordt van middelbare drukking; doch het groote voordeel der uitzetting doet gereedelijk de meerdere zwarigheden over het hoofd zien, die het gebruik van stoom van hooge spanning veroorzaakt.

De ondervinding heeft de voordeelen der uitzetting ten volle bevestigd, onder anderen bij de werktuigen aan de mijnen in het Engelsche vorstendom Wallis; aldaar heeft bij proeven, in tegenwoordigheid van eene van herwaarts gezonden commissie, een der werktuigen 123 300 000 ponden ter hoogte van 1 voet (Engelsche maat) gebragt en daarbij verbruikt een bushel steenkolen, wegende gemiddeld 93 pond. Volgens de voorgaande berekening

zou men het werk van 32 paarden doen met nagenoeg $\frac{1}{2}$ nederl. pond of met 1,575 pond avoir-du-poids steenkolen. Nu komt één paardenkracht overeen met 33000 pond avoir-du-poids op 1 voet hoogte, alzoo het werk van 32 paarden op 1 056 000 pond op 1 voet, hetwelk door 1,575 pond avoir-du-poids steenkolen wordt geleverd; een bushel van 93 pond geeft dus 62 354 000 pond op 1 voet. De aangehaalde proef was dus nog veel voordeeliger, doch zij was de beste van allen; de laagste uitkomst dezer proeven gaf 55 900 000 pond op 1 voet per bushel; ook hadden de werktuigen grootere afmetingen dan het hier berekende. In Engeland gebruikt men de uitzetting reeds bij één twaalfde tot zelfs één vijftiende gedeelte van den zuigerslag, en soms nog eerder.

De formule (13) van § 141 geeft de betrekking der uitzetting, waarbij men het maximum van arbeid uit den stoom kan verkrijgen; daaruit vindt met de aangenomen gegevens en $P' = 35770$, $l' = 0{,}127\,l$; uit deze waarde vindt men uit (14) (§ 141) $\frac{M'}{1500} = 33{,}64$ paarden. Evenwel moet men hierbij in het oog houden, dat wij de drukking onder den zuiger, bij niet afgesloten zuigerslag, onveranderd $= 35770$ pond onderstelden; de cilinder moet dus grootere afmeting hebben, of de zuiger sneller bewegen.

Dewijl hier de spanning twee dampkringen te boven gaat, zou men deze berekening moeten hervatten, door voor n en q de waarden te nemen, in § 96 voor spanningen boven twee dampkringen opgegeven; uit de tafel van § 96 blijkt echter, dat bij eene spanning van 3,5 dampkring de beide waarden nagenoeg dezelfde uitkomst geven; de naauwkeurige waarden voor n en q geven iets grootere waarde voor de hoeveelheid voortgebragten stoom, dan de hier gebruikte; de geleverde arbeid zou dan ook iets grooter zijn.

De werktuigen van enkele werking, meestal alleen tot het pompen van water uit diepe mijnputten gebruikt wordende, zullen wij die hier niet bijzonder behandelen.

2.) *Werktuigen van middelbare drukking.*

§ 147. De grootere spanning van den stoom bij deze soort van werktuigen, heeft eenige wijzigingen in de gedaante der ketels

noodig gemaakt, ten einde geen te groote dikte aan de wanden te moeten geven. Niet alleen dringt de warmte moeijelijker door eene dikke plaat dan door eene dunnere, maar ook heeft het vuur, door de hoogere temperatuur der buitenzijde van den ketel, voor zooverre deze aan de vlam is blootgesteld, een veel nadeeliger werking op het ijzer, waardoor zulke ketels spoediger verslijten.

De ketel bestaat dan meestal uit een of meer ijzeren of koperen cilinders die met elkander gemeenschap hebben, en waarlangs de vlam geleid wordt, zooals in Fig. 15 is aangewezen. Men zorgt ook hier dat al de deelen, met de vlam in aanraking, aan de binnenzijde met water gedekt zijn.

Bij de ijzeren en koperen ketels regelt men, in Frankrijk, de dikte der zijwanden in strepen naar de formule $e = 0{,}018\ (n-1)\,d + 0{,}003$ (1), d de middellijn des cilinders in ellen zijnde, en n het aantal dampkringsdrukkingen.

De voeding van den ketel geschiedt met eene perspomp, door het werktuig zelf bewogen. Zoodra men uit de grootte van den vuurhaard het getal cubiek ellen stoom kent dien de ketel leveren kan, weet men de hoeveelheid water, door de perspomp in denzelfden tijd aan te brengen, en dienovereenkomstig kan hare grootte bepaald worden. Meestal levert de pomp iets meer, en heeft men door middel eener kraan gelegenheid den toevoer zoodanig te regelen, als voor de behoorlijke aanvulling van den ketel noodig is. De overige toestellen aan den ketel zijn dezelfde als bij die van lage drukking.

Men heeft zeer vele verschillende vormen voor den ketel bedacht, ten einde zooveel mogelijk de door den vuurhaard ontwikkelde warmte niet ongebruikt verloren te doen gaan; daartoe is somtijds de vuurhaard geheel binnen den ketel besloten. Hoe meer warmte men op die wijze behoudt, des te voordeeliger is de ketel; doch men hoede zich voor al te zamengestelde vormen, omdat de ongelijke uitzetting zeer ligt lekken en zelfs scheuren doet ontstaan. Ook houde men in het oog, dat de rook en de lucht, die van den vuurhaard langs en door den ketel stroomen, bij het intreden in den schoorsteen, ten minste nog de temperatuur van

(1) Morin, *Aide-mémoire* p. 181. Volgens Peclet zou men de koperen ketels dikker moeten maken.

en ketel moeten bezitten, dewijl anders de ketel wederom warmte an den rook zal mededeelen. In de Figuur 15, alwaar een der heestgebruikelijke ketels is voorgesteld, is tevens aangewezen, oe men den vuurhaard inrigt, opdat hij door het werktuig zelf regelmatig kan gestookt worden. Daartoe is een trog of bak *O* aangebragt, die bij *P* kolen op den rooster doet vallen; de rooster is cirkelvormig en wordt door twee raders en een rondsel *M*, *K*, *L* rondgedraaid, zoodat de kolen, die bij *P* over een' straal of halve middellijn des roosters vallen, doordien de opening bij *P* omtrent zoo breed is als de halve breedte van den rooster, gelijkmatig over den rooster verspreid worden. De rooster sluit langs een' rand *bc* van vuurvaste steenen, terwijl de rand of velling des roosters in eene goot *de* reikt, met zand gevuld, die alle zijdelingsche doortogt aan de lucht uit het aschgat belet. Bij *T* is eene schuif, of ook wel een getande cilinder, die door het werktuig bewogen wordt om den toevoer van steenkolen naar de behoefte te regelen. Deze schuif of cilinder kan aan den regelaar *vwk* (Fig. 16[a]) verbonden worden, om meer kolen door te laten, naarmate de snelheid vermindert, of omgekeerd.

§ 148. Hoewel de stoom bij middelbare drukking zonder uitzetting zou kunnen werken, zoo geschiedt dit bijna nooit, wegens het groot verlies, wanneer men onmiddellijk den stoom bij die drukking condenseert, zonder van den arbeid gebruik te maken, die door zijne uitzetting nog kon verkregen worden.

Men kan den stoom met uitzetting laten werken, door (zooals wij reeds aangewezen hebben) den toevoer uit den ketel af te sluiten, vóór dat de zuiger de geheele lengte van den cilinder doorloopen heeft, of men kan, zooals zulks door Woolf is gedaan, den stoom in twee cilinders gelijktijdig doen werken.

§ 149. Bij deze laatste inrigting heeft men een' kleinen en een' grooten cilinder *A* en *B* (Fig. 17); de stoom uit den ketel komt uit *S* in den kleinen cilinder *A* boven op den zuiger, voor den stand der schuiven *E* en *F* in de figuur; tevens heeft de vroeger onder dien zuiger gebragte stoom nu gemeenschap met de bovenzijde van den zuiger, in den grooten cilinder *B*; deze stoom werkt daar bij uitzetting en drukt minder sterk tegen den onderkant des kleinen zuigers, dan de stoom onmiddellijk uit den ketel op de bovenzijde; gedurende deze werking heeft de onderzijde van den grooten zuiger gemeenschap met den conden-

er openingen boven de plaat *CD* in de klok bij *G* bestaan, de ruimte onder de plaat evenwel stoomdigt van de ruimte *LM* is afgesloten. Zoodra echter de stang *GH* de klok opligt, verkrijgt de stoom gemeenschap van *LM* naar *AB*. De stang *GH* wordt met een excentriek door het werktuig zelf bewogen en alzoo de stoom op de bepaalde tijdstippen afgesloten. Het gebruik van de bovengeopende klok geeft het voordeel, dat bij het ophalen der klok, er slechts eene geringe tegendrukking van stoom is te overwinnen, dat het geval niet zijn zou, indien de klok boven *CD* gesloten was.

3) *Werktuigen van hooge drukking.*

§ 152. Bij werktuigen van hooge drukking gebruikt men in het algemeen kleinere ketels, dan bij de lagere of middelbare drukking, omdat de stoom, wegens zijne sterke spanning, minder ruimte inneemt en ook de stoomcilinders veel kleinere afmetingen hebben. Overigens zijn de ketels, behalve hunne meerdere ijzerdikte, veelal gelijk aan die voor middelbare drukking; uitgezonderd de ketels voor de stoomwagens, alwaar het een vereischte is om in den kortstmogelijken tijd, met een' vuurhaard van gegeven grootte, de grootstmogelijke hoeveelheid stoom te leveren.

Bij de vaste werktuigen komt eigenlijk de tijd niet in aanmerking, waarbinnen eene gegeven hoeveelheid steenkolen of andere brandstof den bepaalden stoom levert; men heeft alleen belang om van dezelfde hoeveelheid brandstof den meesten stoom te verkrijgen: want indien men bij een vast werktuig, bijv. uit 10 pond steenkolen, 100 pond stoom in ééne minuut kan verkrijgen, dan zal men, door den vuurhaard en de verdere deelen des werktuigs naar behooren te vergrooten, zeer wel 10 pond steenkolen in eene halve minuut kunnen verbranden, en dus de hoeveelheid stoom in de helft van den tijd verkrijgen.

Bij de stoomwagens, daarentegen, is de tijd eene hoofdzaak, en kan men de afmetingen van den vuurhaard, noch die van het werktuig naar willekeur vergrooten, omdat het werktuig zelf bewogen wordt, en zijn gewigt eene lastvermeerdering is, die zoo mogelijk moet ontweken worden. Men heeft daarom bij de stoomwagens getracht den vuurhaard derwijze in te rigten, dat men in den kortsten tijd de meeste hoeveelheid stoom verkreeg, al is het ook te

ste van een aanmerkelijk warmteverlies, omdat, vooral bij het rvoer van menschen, de tijd kostbaarder is dan eenige winst n brandstof. De ketels van de stoomwagens zijn bijna geheel gevuld met cilindervormige buizen a, a', a'' (Fig. 21), overal het water omringd; door deze buizen wordt de vlam uit den haard $CC'C''C'''$ gedreven, door eenen sterken luchtstroom, die meestal verkregen wordt door in den schoorsteen stoom te brengen door de buis WU, die de lucht rondom zich medevoert en een' stroom door ab, $a'b'$ enz. voortbrengt, door de lucht uit den haard geleverd.

Thans heeft men in stoomvaartuigen eveneens ketels met vuurpijpen, of zoogenoemde *tubulaire* ketels aangewend, omdat ook daar ruimtebesparing en snelle stoomvorming hoofdvereischten zijn. Het warmteverlies heeft men getracht daarbij terug te winnen, door den stoom bij uitzetting te doen werken.

De voeding der ketels, bij hooge drukking, geschiedt door eene perspomp, even als bij de middelbare drukking.

§ 153. Bij werktuigen van hooge drukking heeft er meestal geene condensatie van den stoom bij inspuiting plaats; men doet den stoom, nadat hij den zuiger heeft voortgedreven, in de lucht, en wel bij de stoomwagens in den schoorsteen ontsnappen, waardoor de trek in den schoorsteen vermeerderd wordt.

Om de werking van den stoom op den stoomzuiger te berekenen, moet men van de drukking des stooms aan de ééne zijde van den zuiger, de drukking van den dampkring, die aan de andere zijde plaats heeft, aftrekken, en zelfs iets meer, omdat de stoom, door den zuiger voortgedreven, altijd bij den zuiger eenigen meerderen tegenstand veroorzaakt.

Behalve deze wijziging, die nederkomt om voor de waarde van p, in de formulen voor de werktuigen van lage drukking, in § 136 tot 143, de drukking van den dampkring en dus $p = 10\,000$ op de vierkante el te nemen; kunnen de formulen voor de lage drukking ook hier gebruikt worden, mits men voor n en q de waarden neemt, die bij stoom, boven twee dampkringen werkende, moeten gebruikt worden: namelijk, de el als eenheid nemende:

$$n = 0{,}000\,142\,1 \qquad q = 0{,}000\,000\,047\,1.$$

De verkoelingstoestel wordt bij de hooge drukking weggelaten, omdat er eene veel aanzienlijker hoeveelheid water vereischt

wordt, om eene zelfde hoeveelheid stoom van hooge drukking dan van lage te condenseren, en alzoo eene grootere luchtpomp en verdere deelen noodig zijn; terwijl men juist meestal de stoomwerktuigen van hooge drukking gebruikt, dáár waar plaatsgebrek het aanbrengen van die toestellen belet, of alwaar men het gewigt van het werktuig zooveel mogelijk wil verminderen. In de gevallen waarin de vermeerdering van gewigt en ruimte geene zwarigheid oplevert, is het condenseren van den stoom voordeelig; bij zulke werktuigen doet men altijd den stoom bij uitzetting werken.

Bij de werktuigen van middelbare drukking, zou men ook wel de condensatie kunnen achterwege laten, doch dan vermindert de uitwerking van den stoom op den zuiger reeds merkelijk. Wanneer bij voorbeeld van eene drukking van 4 dampkringen in den cilinder, er één wegens de tegendrukking van den dampkring afgaat, dan vermindert de uitwerking in reden van 4 : 3. Bij de hooge drukking is dit verlies naar evenredigheid minder, alzijnde, bijv. bij eene drukking van acht dampkringen, als 8 : 7. Bij de lage drukking kan de condensatie volstrekt niet wegblijven, dewijl de overmaat van drukking des stooms boven den dampkring veel te gering is, om eenigen noemenswaardigen arbeid voort te brengen.

De werktuigen van hooge drukking werken veeltijds met uitzetting, dewijl er anders een groot gedeelte van den, uit den stoom te trekken arbeid, verloren gaat.

De overige deelen der werktuigen van hooge drukking, kunnen dezelfde zijn als bij die van lage drukking. De stoomzuigers worden altijd zonder hennepvlechting gebruikt en ingerigt, zooals dit in § 150 is beschreven.

§ 154. Ten einde de werking der hooge drukking tegen die der lage te kunnen vergelijken, zullen wij eens stellen, dat bij het voorbeeld, berekend in § 145; dezelfde hoeveelheid brandstof gebruikt wordt om stoom van hooge drukking voort te brengen, zoodat hier ook per minuut 5,29 pond stoom van hooge drukking wordt geleverd, hetgeen, behalve eenig meerder verlies aan warmte door de hoogere temperatuur des ketels, werkelijk kan plaats hebben. Nemen wij aan dat deze hoeveelheid stoom tot eene drukking van vijf dampkringen onder den zuiger, en dus tot iets meer in den ketel gebragt wordt, en stellen wij de snelheid van den zuiger, even als bij de lage drukking, op 60,9 el in de minuut.

stoom neemt bij hooge drukking veel minder ruimte in dan lage drukking, derhalve zal de dwarsdoorsnede a van den inder veel kleiner zijn. Men kan die dwarsdoorsnede uit de geven waarden van S en P′ door de formule (4) van § 136 bekenen, mits men daarbij voor n en q de waarden, in § 153 opgeven, gebruikt; stellende in die formule $S = 0{,}00529$ cub. , $P' = 50\,000$ pond, $c = 0{,}05$ el, dan vindt men voor de middellijn des stoomcilinders 0,205 el, of $a = 0{,}03313$ vierkante el. Met deze waarde van a vindt men uit (16) (§ 142), $Q = 15{,}4$ paarden; mits aldaar $p = 10\,000$ en $f = 880$ stellende, welke laatste waarde door den Ingenieur Pambour uit zijne proeven op werktuigen van hooge drukking is afgeleid. Er is alzoo een aanmerkelijk voordeel gelegen in het gebruiken van stoom van hooge drukking, dewijl dezelfde hoeveelheid brandstof bij lage drukking slechts 10 paarden oplevert. Dit voordeel spruit voornamelijk voort uit de vermindering van de wrijving bij zuigers van kleine middellijn, en door het weglaten van den condensatie-toestel. Over het algemeen echter zijn de zuigers, kleppen, kranen enz. moeijelijker stoomdigt te houden dan bij lage drukking, waardoor wederom eenig verlies ontstaat; ook dient men in aanmerking te nemen dat de waarde van f bij kleine cilinders toeneemt (§ 137).

§ 155. Bij stoomwagens, die behalve den last ook hun eigen gewigt moeten medeslepen, heeft men al de afmetingen zooveel mogelijk verminderd, om alle overtollige zwaarte te ontwijken. De stang van den stoomzuiger werkt aan eene kruk op de as bevestigd, waaraan de raderen verbonden zijn, en doet dus deze draaijen.

De stoom, na op den zuiger gewerkt te hebben, wordt door eene buis in den schoorsteen gebragt, waarin hij met groote snelheid ontsnapt, en alzoo, niettegenstaande de schoorsteen uit den aard der zaak niet hoog kan zijn, een' zeer sterken luchtstroom veroorzaakt, zooals in § 153 is gezegd. Behalve de drukking van den dampkring, die op den stoomzuiger in tegengestelde rigting der beweging werkt, moet men nog op eenigen tegenstand van den ontsnappenden stoom zelven rekenen, om hem de verëischte snelheid in den schoorsteen te geven. Volgens de proeven van Pambour zou men dezen wederstand evenredig aan de snelheid van het werktuig kunnen stellen, en alzoo voor dien tegenstand eene uitdrukking van den vorm pv' kunnen nemen, waarin

v' de snelheid van den wagen is; of wel, zoo D de middellijn van het rad is waaraan de stoomzuiger werkt, en d de lengte van den arm der kruk, dan legt de omtrek van het rad een' weg πD af, in den tijd waarin de stoomzuiger een' weg $4d$ doorloopt, alzoo is $v : v' = 4d : \pi D$ of $v' = \frac{\pi D}{4d} v$; en derhalve kan men voor den wederstand van den stoom op den zuiger nemen $\frac{\alpha \pi D}{4d} v$, of ook $\frac{\alpha \pi D}{2l} v$, als l de lengte van den zuigerslag voorstelt, en α een' standvastigen coëfficient.

§ 156. De wederstand der lucht bij de beweging komt bij de stoomwagens ook nog in aanmerking, omdat de tegenstand der wrijving op de sporen en assen zeer gering is. Men kan den tegenstand der lucht evenredig nemen aan het vierkant der snelheid van den stoomzuiger, en alzoo dien tegenstand voorstellen door eenen term van den vorm βv^2; is nu daarenboven s de kracht, noodig om den wagen zelven te bewegen en r de nuttige last, alles gerekend op de vierkante eenheid, dan moet men in de formulen van §§ 136—143, voor r schrijven $r + s + \beta v^2$, en voor den tegenstand op de zijde tegengesteld aan die waarop de stoom werkt, $p + p'v$, als men $p' = \alpha \frac{\pi D}{2l}$ stelt. Wij verkrijgen dus uit (5) van § 138, als men $k = \frac{l}{l+c}$ en dus geene uitzetting neemt:

$$ar = \frac{Sl}{(1+\delta)(l+c)qv} - \frac{a}{(1+\delta)q} \{ n + q(p + p'v + f) \} - a(s + \beta v^2)$$

en uit (4) § 136:

$$v = \frac{Sl}{a(l+c)} \cdot \frac{1}{n + q\{(1+\delta)(r + s + \beta v^2) + p + p'v + f\}}.$$

De verrigte arbeid in eene tijdséénheid, is uit (7) (§ 138):

$$M = \frac{Sl}{(1+\delta)(l+c)} \cdot \frac{P' - (p + p'v + f)}{n + qP'}$$

$$= \frac{(r + s + \beta v^2) lS}{(l+c)\{n + q[(1+\delta)(r + s + \beta v^2) + p + p'v + f]\}}.$$

De vergelijking voor de snelheid v'' van den zuiger, waarbij

den meesten arbeid uit de hoeveelheid S stoom verkrijgt, is
de als bij de werktuigen van lage drukking, of:

$$v'' = \frac{Sl}{a(l+c)(n+qP)},$$

st is dan:

$$= \frac{Sl}{(1+\delta)(l+c)v''} - \frac{a}{(1+\delta)q}\{n+q(p+p'v''+f)\} - a(s+\beta v''^2)$$

e arbeid:

$$M = \frac{(r+s+\beta v''^2)lS}{(l+c)\{n+q[(r+s+\beta v''^2)(1+\delta)+p+p'v''+f]\}}.$$

erbij merke men wel op, dat de nuttige last *ar* alhier de
ht aanwijst, door den stoomwagen evenwijdig aan de rigting
den weg uitgeoefend. Zoodra men dus de kracht kent, noo-
om eenen bepaalden last op een' gegeven weg te bewe-
, dan zullen de voorgaande formulen den arbeid aanwijzen
daartoe door den stoomwagen kan geleverd worden, alsmede
snelheid der beweging.

§ 157. Volgens waarnemingen van den Ingenieur Pambour, kan
n bij de stoomwagens stellen op de vierkante el: $f = 880$
d, $p' = 11{,}527$ pond, $\beta = 0{,}2897$ pond en $\delta = 0{,}14$. De
rde van *as* hangt af van de kracht K, die evenwijdig aan
weg den stoomwagen in beweging kan brengen, zonder dat
stoom werkt; de wegen dier beide krachten staan tot elkander
$\pi D : 2l$; derhalve is:

$$s = \frac{\pi DK}{2al};$$

hangt af van de dwarsdoorsnede *a* van den cilinder; men kan
rhalve daarvoor geen vaste waarde geven. Bij een voorbeeld
er den Ingenieur Pambour berekend, vindt hij $s = 1468$ pond
de vierkante el; de cilinders hadden 30,5 duim middellijn;
wijl dit nagenoeg de middelbare grootte der cilinders bij stoom-
gens is, zal men in die gevallen de aangenomen waarde van
ls gemiddelde kunnen gebruiken. Het spreekt overigens van
, dat, daar de stoomwagens altijd twee cilinders hebben, *a*
som der oppervlakten van beide zuigers voorstelt.

§ 158. Ten einde de werking van de stoomdrukking op den voortgang van den wagen en de drukkingen, daarbij op de verschillende deelen uitgeoefend, na te gaan, zoo zij in Fig. 20, O,O' de assen van de raderen $OA,O'A'$, en bij zekeren stand van den zuiger, CO de krukarm, CN de trekstang en NP de zuigerstang. Alsdan werkt op het rad AO eene drukking, door den stoom voortgebragt, in de rigting NC, terwijl in juist tegengestelde rigting, eene even groote drukking volgens CN, op den wagen wordt voortgebragt: want ofschoon de trekstang CN niet in het verlengde van de zuigerstang werkt, zoo oefent die stang op de deelen van den wagen, die haar beletten uit de rigting PN af te wijken, drukkingen uit, die met de drukking van den stoom tegen den bodem van den cilinder eene resultante geven, gelijk en tegengesteld aan de drukking op het rad. Hetzelfde heeft plaats voor elken stand van den zuiger, en dus ook wanneer deze van H naar E gaat, en alzoo de stoom tegen het deksel H drukt.

De drukking volgens CN op den wagen, kan men met het gewigt van dezen, werkende in de loodlijn IL, door het zwaartepunt L van den wagen getrokken, tot eene enkele kracht volgens BG zamenstellen; maar de wagen op het punt zijnde van in de rigting AA' te bewegen, zoo moet de drukking op de as van het vrije rad $O'A'$, den wrijvingscirkel $O'o'$ van die as aanraken en door het einde a' van het boogje $A'a'$, dat de grootte der rollende wrijving aanwijst, gerigt wezen; de rigting $a'o'I$ dier drukking is dus geheel bepaald. Uit het snijpunt G van die rigting, met de kracht volgens BG, eene raaklijn Go aan den wrijvingscirkel van het drijfrad AO getrokken zijnde, zoo is dit de rigting der drukking op de as van het drijfrad, dewijl de kracht langs BG, alleen door de twee assen O en O' moet gedragen worden. Is alzoo IA de rigting der drukking van het drijfrad op den grond, dan moet die drukking in tegengestelde rigting, zamengesteld met de stoomdrukking volgens NC, eene kracht geven, gerigt volgens Go, zijnde hier Aa het boogje der rollende wrijving in A. Is hierbij echter de hoek IaO grooter dan die van de slepende wrijving over het spoor, dan draait het rad op de plaats rond en de wagen gaat niet voort.

De voorwaarde dat de resultante der krachten volgens oG en NC door het punt a moet gaan, is voldoende om de grootte der

racht langs CN te bepalen, dewijl die kracht de eenige onbeende is die in het vraagstuk voorkomt; uit den vorm van den agen en zijn gewigt zal dus de kracht volgens CN en daaruit ie volgens NP, of de stoomspanning tot de beweging vereischt, e vinden wezen. Tot dit laatste heeft men slechts de kracht olgens CN te ontbinden loodregt op NE en langs NE, dan is aatstgenoemde de stoomspanning, en de andere de drukking op de deelen van den wagen, waardoor de zuigerstang NP in de igting OE blijft bewegen.

Is bij het ronddraaijen de trekstang NC in den stand N_1C_1 gekomen, dan werkt de stoomspanning in de rigting C_1N_1 op het drijfrad en volgens N_1C_1 op den wagen, en deze laatste, zamengesteld met het gewigt van den wagen langs IL, geeft eene resultante volgens G_1B_1. Uit het snijpunt G_1 met Ia' eene raaklijn $G_1\rho_1$ aan den wrijvingscirkel van AO trekkende, heeft men wederom de drukking op het drijfrad, en deze drukking moet met de kracht volgens C_1N_1 wederom eene resultante K_1a geven, gerigt door het punt a.

§ 159. Brengt men in a en a' krachten aan, gelijk en tegengesteld aan de drukkingen van den wagen op den weg, dan zullen die krachten evenwigt maken met de resultante van al de krachten die op den wagen werken, dat is enkel met zijn gewigt, dewijl de krachten volgens CN of C_1N_1 tegen die in tegengestelde rigting op den stoomcilinder en wagen, verdwijnen. Verlengt men dan de rigtingen ka en $a'o'$ tot dat zij elkander in I snijden, dan moet dit snijpunt in de verticale lijn IL, door het zwaartepunt van den wagen getrokken, gelegen zijn. Dit geeft dan een gemakkelijk middel om de krachten in a en a' te bepalen: want de stand der lijn $a'o'I$ is uit de afmetingen van de assen en raderen, en uit den wrijvingscoëfficient bekend, alsmede de lijn IL; de rigting van Ia is dus onmiddellijk te vinden; zij blijft onveranderd, welke ook de stand van zuiger en kruk zij. De rigting en grootte der drukking langs Ia bekend zijnde, zoo wordt door het ontbinden dier kracht langs Ko en NC, de drukking langs NC_1 en daardoor de stoomspanning langs NH, voor het evenwigt vereischt, gevonden.

Hoe meer de lijn LI tot OA nadert, des te kleiner wordt hoek IaO en des te minder is er gevaar van uitglijden bij a; de drukking van den stoom en het gewigt van den wagen hebben op dien

hoek geen' invloed, maar wel de afstand van de lijn IL g
trokken door het zwaartepunt tot het drijfrad.

Indien men de drukkingen volgens Ia en Ia' op het spoor b
a en a' in horizontale en verticale rigting ontbindt, zoo blijk
het, dat de sporen aldaar drukkingen ondergaan, waardoor zij i
tegengestelde horizontale rigting gedreven worden; is er dus tus-
schen die punten eene voeg of afscheiding, zoo worden die stuk-
ken van elkander af gedreven, hetwelk, zal de weg in stand blijven,
door den wederstand der bevestiging van de spoorstaven moe
worden voorgekomen.

§ 160. Indien de weg AA' niet horizontaal is, blijven al de
hier aangewezen constructiën dezelfde: alleen de lijn IL vorm
met den weg geen' regten hoek meer, maar een' die gelijk is
aan het complement van den hellingshoek van den weg. Moet
bijv. de wagen tegen de helling op, zoo zij $I'L$ de verticale lijn
door het zwaartepunt van den wagen; het punt I' komt dan
nader aan a', de hoek IaO wordt grooter, en des te eerder zal
het drijfrad op de plaats ronddraaijen en de wagen stilstaan. Trekt
men aI' derwijze, dat de hoek $I'aO$ gelijk zij aan den wrijvings-
hoek der slepende wrijving over AA', dan zal de hoek ILI' de
grootste helling aanwijzen, waarbij de voortbeweging van den
wagen nog mogelijk blijft. Hoe meer dus het zwaartepunt tot OA
of tot het drijfrad nadert, des te steiler weg kan de wagen berijden.

Stelt men eens de boogjes $Aa, A'a'$, gelijk nul en de lijn $I'L$
zoodanig dat $AV = A'V'$ zij, dan zal, zoo men hoek $OAI' =$
en $O'A'I' = \theta'$ stelt, gemakkelijk gevonden worden:

$$\text{tang } ILI' = \tfrac{1}{2}(\text{tang } \theta - \text{tang } \theta').$$

Is nu ρ' de straal van den wrijvingscirkel bij O', of wel gelijk
aan het product van den straal der as O' met de sinus van den
wrijvingshoek aldaar, en r' de straal van het rad $O'A'$, dan is
$r' \sin \theta' = \rho'$ en alzoo θ' een zeer kleine hoek; terwijl voor het
uiterste geval, alwaar het drijfrad OA op het punt is van om
de plaats rond te draaijen, θ gelijk kan zijn aan den wrijvings-
hoek μ over de sporen; men zal dan zeer nabij hebben tang
$ILI' = \frac{1}{2}\text{tang}\,\mu$. Wanneer dus bij een' stoomwagen het zwaart-
punt nagenoeg midden tusschen de voor- en achterraderen val
dan zal de grootste helling waartegen de wagen kan oprijden, bij
gelijk zijn aan de helft van den wrijvingshoek der slepende wr

ring over den weg. Volgens de tafels der wrijvingshoeken achter de Mechanica, kan men, bij de wrijving van ongesmeerd ijzer op ijzer, stellen tang $\mu = 0{,}18$; diensvolgens zou de grootste helling door zulk een' wagen te berijden die zijn van 0,09 der lengte; doch zoodra door eenig vocht of vettigheid de wrijving verminderde, zou de voortgaande beweging ophouden.

§ 161. De stoomspanning moet echter niet alleen den wagen voortbewegen, maar ook nog andere voortslepen, alzoo zekere kracht $ar = K$ (§ 138) uitoefenen, die de eigenlijke arbeidende kracht van den stoomwagen voorstelt. Zij die kracht volgens HK (Fig. 21) evenwijdig aan den weg, dan zal zij, zamengesteld met het gewigt van den stoomwagen, eene resultante bijv. volgens IV, leveren, die nu in plaats komt van de kracht volgens IL of IL van Fig. 20. Die resultante dan wederom, evenals hiervoren, ontbonden langs IA en IA' (de boogjes Aa, $A'a'$ (Fig. 20) gemvoudigheidshalve weglatende), zullen deze laatste de drukkingen op den weg aanwijzen, en daaruit dan wederom de drukking langs de trekstang NC en de stoomspanning voor het evenwigt vereischt, kunnen afgeleid worden. Door het gewigt van den stoomwagen te vergrooten, zal het punt I' verder van A' komen, en dus de hoek OAI' verminderen, waardoor dan de voortgaande beweging weder mogelijk kan worden. Ook hier zal het verplaatsen van het zwaartepunt L naar het drijfrad, voordeel aanbrengen. Is voor zekere sleepkracht, evenwijdig aan den weg, de hoek OAI' op zijn maximum, dan zal voor eene grootere sleepkracht, ook het gewigt van den stoomwagen in dezelfde reden moeten toenemen. Bij gelijksoortige stoomwagens is dus de last dien zij kunnen voortslepen, evenredig aan hun gewigt.

§ 162. De aanwijzingen der voorgaande §§ zijn voldoende, om in elk bijzonder geval de drukking D langs de trekstang, de drukking op de assen en verdere steunpunten, alsmede de grenzen waarbinnen de beweging nog mogelijk blijft, te bepalen. De geheel naauwkeurige bepaling van dit alles zou tot zeer langwijlige en ingewikkelde berekeningen leiden; het volgende zal voldoende wezen om, met de vereischte juistheid, hieromtrent de noodige aanwijzing te geven.

Men zal in de eerste plaats bij het bepalen der drukkingen, zeer wel de rollende wrijving over het spoor, of de boogjes Aa, $A'a'$ (Fig. 20) kunnen verwaarloozen; die boogjes zullen bij goed

afgedraaide raderen niet merkbaar zijn. Ook de wrijvingscirkels behoorende bij de assen, zullen, in vergelijking der raderen zelven, zeer klein zijn, want meestal hebben die assen geen grootere middellijn dan van ongeveer één tiende gedeelte van die der raderen, en daar de wrijving van goed gesmeerde assen ongeveer één tiende der drukking bedraagt, zoo is de straal van den wrijvingscirkel ongeveer één honderdste van die der raderen. Indien nu ρ de straal van den wrijvingscirkel bij O (Fig. 21), en r de straal OA van het drijfrad voorstelt, alsmede hoek $OAI = \theta$, en de drukking op het rad O langs IA door S, en eindelijk de overeenkomstige grootheden voor het rad $O'A'$ door dezelfde letters met accenten geteekend worden aangewezen, dan zal men voor de loodlijn uit o op AI mogen stellen $r \sin \theta + \rho$; men neemt dan die loodlijn iets te groot, doch dit is wegens de kleine waarde van ρ van weing invloed. Is nu voor zekeren stand der trekstang, de loodlijn uit O op CN nedergelaten, $= d$, dan zal de loodlijn uit o op CN bijna gelijk zijn aan $d - \rho$; die loodlijn is dan eigenlijk iets te klein. Voor het evenwigt tusschen D en S, zal men dus kunnen stellen:

$$(d - \rho) D = (r \sin \theta + \rho) S \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha);$$

waarin dan D iets te groot is.

Is de trekstang in den stand C_1N_1, dan blijft dezelfde vergelijking bij benadering gelden; alleen voor standen alwaar d zeer klein wordt, is welligt de waarde van $d - \rho$ niet naauwkeurig genoeg; doch dit heeft slechts plaats gedurende een zeer kort tijdperk der beweging, waarin daarenboven de stoomzuiger, aan het einde van den zuigerslag zijnde, wegens den overgang van den stoom van de eene naar de andere zijde van den zuiger, bijna geene stoomdrukking ondergaat; voor die standen is de kennis van de juiste drukking S minder noodzakelijk.

Aan het vrije rad $O'A'$ moet de rigting der drukking S' den wrijvingscirkel aanraken; de hoek θ' zal, zooals reeds is aangewezen, uit de vergelijking

$$r' \sin \theta' = \rho' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\beta)$$

zijn af te leiden.

Indien de stoomwagen, zooals gewoonlijk, op meer dan vier wielen staat, dan zijn de vrije wielen van gelijke stralen; bij elk

is dan de rigting van den wederstand van den grond, evenwijdig aan de rigting $A'o'$, en de resultante uit twee of meer zulke krachten, gesteld dat de wagen op meer dan zes wielen staat, is evenwijdig aan $A'o'$; zijn dan de verticale drukkingen die deze wielen ondergaan, bekend, dan zal men, in plaats van die wielen, zich een denkbeeldig wiel kunnen voorstellen op de plaats alwaar de resultante der drukkingen van de wezenlijke wielen valt, en dit denkbeeldig wiel, voor zoover de berekening betreft, in de plaats van de werkelijk aanwezige wielen mogen stellen. Dit denkbeeldig rad kan zoowel vóór als achter het drijfrad komen, doch dit maakt geene verandering in de berekening.

Het gewigt L van den stoomwagen in IL werkende, zoo zij $AV = a$, $A'V = a'$, waarbij het nu onverschillig is, of er werkelijk een rad in O' is, of dat dáár de plaats is van het denkbeeldige rad, 't welk voor de berekening de wezenlijke raderen vervangt. Laat verder op de hoogte $VH = h$ eene kracht K evenwijdig aan den weg werken, voorstellende den wederstand door den last achter den stoomwagen, evenwijdig aan den weg uitgeoefend, zoo dat de resultante Q van die kracht met het gewigt L gerigt zij volgens HV_1, zijnde hoek $V_1HV = \delta$, alsdan hebben wij $I'V' = x$, stellende:

$$\left.\begin{aligned} x \operatorname{tang} \theta &= a + (x-h) \operatorname{tang} \delta, \\ \text{en} \quad x \operatorname{tang} \theta' &= a' - (x-h) \operatorname{tang} \delta: \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2),$$

waaruit:

$$x(\operatorname{tang} \theta + \operatorname{tang} \theta') = a + a';$$

en daar men bijna kan stellen:

$$r' \operatorname{tang} \theta' = p' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

zoo is ook:

$$x(\operatorname{tang} \theta - \operatorname{tang} \delta) = a - h \operatorname{tang} \delta = \frac{(a+a')(\operatorname{tang} \theta - \operatorname{tang} \delta)}{\operatorname{tang} \theta + \operatorname{tang} \theta'}$$

en $$x(\operatorname{tang} \theta' + \operatorname{tang} \delta) = a' + h \operatorname{tang} \delta = \frac{(a+a')(\operatorname{tang} \theta' + \operatorname{tang} \delta)}{\operatorname{tang} \theta + \operatorname{tang} \theta'}.$$

Door de ontbinding van Q langs $I'A$ en $I'A'$, hebben wij:

$$S = \frac{\sin(\theta' + \delta)}{\sin(\theta + \theta')} Q, \qquad S' = \frac{\sin(\theta - \delta)}{\sin(\theta + \theta')} Q;$$

en alzoo:

$$(d-\rho)\,D=\frac{\sin(\theta'+\delta)}{\sin(\theta+\theta')}(r\sin\theta+\rho)\,Q$$

$$=\left\{r\,\mathrm{tang}\,\delta+r\frac{\mathrm{tang}\,\theta-\mathrm{tang}\,\delta}{\mathrm{tang}\,\theta+\mathrm{tang}\,\theta'}\mathrm{tang}\,\theta'+\rho\frac{\mathrm{tang}\,\theta'+\mathrm{tang}\,\delta}{\mathrm{tang}\,\theta+\mathrm{tang}\,\theta'}\sec\theta\right\}Q\cos\delta$$

$$=\left\{r\,\mathrm{tang}\,\delta+\rho'\,\frac{a-h\,\mathrm{tang}\,\delta}{a+a'}+\rho\frac{a'+h\,\mathrm{tang}\,\delta}{(a+a')\cos\theta}\right\}L$$

$$=rK+\left\{\rho'\frac{a-h\,\mathrm{tang}\,\delta}{a+a'}+\rho\frac{a'+h\,\mathrm{tang}\,\delta}{(a+a')\cos\theta}\right\}L \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

waarin men, wegens den geringen invloed van $\cos\theta$, zeer wel $\cos\theta=1$ mag stellen, ofschoon men des verkiezende uit de vergelijking (δ) en (γ) den hoek θ kan berekenen.

§ 163. Indien men de kracht Q in V_1, in verticale en horizontale rigting ontbindt, dan is eerstgenoemde blijkbaar gelijk aan L, en deze ontbonden in evenwijdige rigting in A en A', geeft twee krachten P en P', aangewezen door de vergelijkingen:

$$P=\frac{a'+h\,\mathrm{tang}\,\delta}{a+a'}L \quad \text{en} \quad P'=\frac{a-h\,\mathrm{tang}\,\delta}{a+a'}L;$$

zoodat men voor (1) der vorige § ook schrijven kan:

$$(d-\rho)\,D=rK+\rho P+\rho' P' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

In de vergelijkingen (1) en (2) mag θ niet grooter zijn dan μ, behoorende bij de slepende wrijving over het spoor; en daar wij hebben uit de voorgaande §:

$$\mathrm{tang}\,\theta=\frac{a+a'-h\,\mathrm{tang}\,\theta'}{a+h\,\mathrm{tang}\,\delta}\mathrm{tang}\,\delta,$$

zoo hebben wij hieruit voor den hoek δ, als $\theta=\mu$ is:

$$\mathrm{tang}\,\delta=\frac{a'\,\mathrm{tang}\,\mu-a\,\mathrm{tang}\,\theta'}{a+a'-h\,(\mathrm{tang}\,\mu+\mathrm{tang}\,\theta')} \quad . \quad . \quad (3);$$

of wel omdat θ' altijd zeer klein is:

$$\mathrm{tang}\,\delta=\frac{a'\,\mathrm{tang}\,\mu}{a+a'-h\,\mathrm{tang}\,\mu}.$$

De verticale drukking door het gewigt van den wagen op de as O overgebragt, is $\frac{a'}{a+a'}$ L, en daar $K=L\,\mathrm{tang}\,\delta$ is, zoo heeft

men nagenoeg voor de grootste sleepkracht van den stoomwagen:

$$K = \frac{a'}{a+a'} L \operatorname{tang} \mu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Hoe meer dus de drijfas belast is, des te grooter is de sleepkracht. Veelal wordt de formule (4) als volkomen naauwkeurig opgegeven, doch men ziet uit het voorgaande, dat zij slechts eene benadering is.

§ 164. Is voor eenig gegeven geval de sleepkracht K uit (2) kleiner dan de kracht K′ die voor de beweging van den last vereischt wordt, dan is K′—K de vertragende kracht, die, wanneer de wagen met den last in beweging is, eindelijk de snelheid zou uitputten. Strikt genomen moet die vertragende kracht door het zwaartepunt *L* van den wagen gaan, de hoekversnelling der raderen buiten rekening latende. Heeft dit geen plaats, dan kan men die kracht door het bijvoegen van een koppel in dat punt overbrengen: Is bijv. *HK* de rigting der vertragende kracht bij de beweging van *A* naar *A′*, dan zal, door het overbrengen van het verschil K′—K uit *H* naar *L*, een negatief koppel (K′—K) *HL* ontstaan. Dit koppel tot den arm *AV* herleid en in zijn vlak gedraaid, zal het rad *AO* op den grond drukken en het gewigt van den wagen verminderen, en alzoo het vooreinde van den wagen bij *A′* verligten. Verandert K′—K in eene versnellende kracht, dan heeft het omgekeerde plaats: het achtereinde *A* wordt geligt, en daar bij elken zuigerslag telkens zulk eene afwisseling van vertraging en versnelling plaats heeft, zoo worden telkens de vóór- en achterveren waarmede de wagen op de assen drukt, beurtelings belast en ontlast, hetwelk eene golvende of galoperende beweging van den wagen veroorzaakt, waardoor het *uit het spoor ligten* zeer bevorderd wordt. Het is dus voordeelig om de verbinding van den last met den stoomwagen, ter hoogte van het zwaartepunt van den wagen te doen plaats hebben.

§ 165. Als het gewigt van den stoomwagen niet voldoende is om de vereischte sleepkracht toe te laten, dan kan men die kracht vermeerderen door twee of meer raderen te vereenigen, door middel van eene koppelstaaf DD_1 (Fig. 22), die de twee krukarmen *OD* en OD_1 verbindt. Die krukarmen en de raderen zelven moeten blijkbaar evengroot zijn; alsdan vormen de krukarmen met de koppelstang de drie zijden van een parallelogram OO_1D_1D.

en de gekoppelde raderen doorloopen gelijktijdig gelijke wegen, waardoor de slepende wrijving over den weg wordt voorgekomen. Staat de wagen op meer dan vier wielen, dan zullen de ongekoppelde wielen drukkingen ondergaan, waarvan de grootte uit de belasting op de assen bekend is; de resultante dier drukkingen kan men dan weder beschouwen als voorstellende de drukking op een denkbeeldig rad, geplaatst aan de resultante der drukkingen op de vrije of ongekoppelde raderen; men heeft dan alleen het totale gewigt L van den stoomwagen in twee deelen te verdeelen: het eene de zooeven genoemde resultante, terwijl het andere de drukking L_1 op de gekoppelde raderen aanwijst. Deze laatste drukking kan men met de kracht K, die wederom de sleepkracht evenwijdig aan den weg voorstelt, tot eene enkele kracht Q' verbinden, makende een' hoek δ met eene verticale lijn.

Zij nu DD_1 de rigting der koppelstang voor den stand CO van den krukarm, die van OD kan verschillen, maar meestal zijn verlengde is, en NC de rigting der drukking, dan wordt door de koppelstang eene drukking C volgens DD_1 van D naar D_1 op den krukarm OD voortgebragt, en eene juist evengroote en tegengestelde van D_1 naar D op den krukarm OD_1. Op het rad OA werken dan: de kracht S van A naar F, zijnde de tegenstand van het spoor bij A, de kracht D volgens NC, en de kracht C van D naar D_1. De resultante dier krachten moet, als de wagen op het punt is van vooruit te gaan, den wrijvingscirkel van de as O aanraken, en men kan dan wederom bij benadering, (zoo ρ den afstand van de koppelstang tot de lijn OO_1 aanwijst en men overigens dezelfde letters als in de vorige §§ voor de overeenkomstige grootheden gebruikt, en die betrekkelijk de as O_1 met accenten onder aan de letters aanwijst) mogen stellen:

$$(d-\rho)\,D=(r\sin\theta+\rho)\,S+(c-\rho)\,C,$$

en bij de as O_1

$$(c-\rho)\,C=S_1(r\sin\theta_1+\rho),$$

alzoo:

$$(d-\rho)\,D=S\,(r\sin\theta+\rho)+S_1(r\sin\theta_1+\rho). \quad . \quad . \quad (c)$$

Hier is dan wederom:

$$S=Q_1\frac{\sin(\delta-\theta_1)}{\sin(\theta-\theta_1)}, \qquad S_1=Q_1\frac{\sin(\theta-\delta)}{\sin(\theta-\theta_1)},$$

ede $Q_{,}\cos\delta = L_{,}$. Eveneens is voor $AA_{,} = a + a_{,}$.

$$\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\delta = \frac{(a - h\,\text{tang}\,\delta)\,(\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\vartheta_{,})}{a + a_{,}} \quad . \quad . \quad (\beta)$$

$$\text{tang}\,\delta - \text{tang}\,\vartheta_{,} = \frac{(a_{,} + h\,\text{tang}\,\delta)\,(\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\vartheta_{,})}{a + a_{,}} \quad . \quad . \quad (\gamma).$$

zoo is dan:

$$(d-\rho)\,D = \left\{ \frac{\sin(\delta-\vartheta_{,})\sin\vartheta + \sin(\vartheta-\delta)\sin\vartheta_{,}}{\sin(\vartheta-\vartheta_{,})} r + \frac{\sin(\delta-\vartheta_{,}) + \sin(\vartheta-\delta)}{\sin(\vartheta-\vartheta_{,})} \rho \right\} Q,$$

$$= \left\{ r\sin\delta + \frac{\text{tang}\,\delta - \text{tang}\,\vartheta_{,}}{\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\vartheta_{,}} \cdot \frac{\cos\delta}{\cos\vartheta} \rho + \frac{\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\delta}{\text{tang}\,\vartheta - \text{tang}\,\vartheta_{,}} \cdot \frac{\cos\delta}{\cos\vartheta_{,}} \rho \right\} Q,$$

$$= \left\{ r\,\text{tang}\,\delta + \rho \frac{a_{,} + h\,\text{tang}\,\delta}{a + a_{,}} \sec\vartheta + \rho \frac{a - h\,\text{tang}\,\delta}{a + a_{,}} \sec\vartheta_{,} \right\} L_{,} \quad (1).$$

De hoeken ϑ en $\vartheta_{,}$ altijd klein zijnde, zoo kan men bij benadering stellen:

$$D\,(d-\rho) = (r\,\text{tang}\,\delta + \rho)\,L_{,}$$

of wel daar ϑ en $\vartheta_{,}$ nooit grooter dan μ mogen zijn, naauwkeuriger:

$$(d-\rho)\,D - (r\,\text{tang}\,\delta + \rho\sec\mu)\,L_{,} = rK + \rho\,L_{,}\sec\mu. \quad . \quad (2).$$

Aan deze formule dient nog eene verbetering gevoegd te worden, wegens den tegenstand der wrijving op de as der vrije of ongekoppelde raderen. De rigting der drukking S′ van de vrije raderen op den grond maakt een' hoek ϑ' met de verticale lijn, in tegengestelde rigting der hoeken ϑ en $\vartheta_{,}$, en levert nog eene horizontale kracht S′ sin ϑ', die van de kracht K of van de sleepkracht had behooren te worden afgetrokken, zoodat wanneer L′ de drukking voorstelt op de gezamenlijke vrije raderen, en ρ' den straal van den wrijvingscirkel hunner assen, en alzoo $\sin\vartheta' = \rho'$ is, men even als in verg. (2) van § 163 heeft:

$$(d-\rho)\,D = rK + \rho L_{,}\sec\mu + \rho' L' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

de betrekking tusschen de drukking D langs de trekstang en de sleepkracht K, bij gekoppelde raderen.

166. Als de hoeken ϑ en $\vartheta_{,}$ gelijk zijn aan den hoek μ der wrijving over den weg, dan verkrijgt men de grens der kracht, en dan heeft men uit (β) of (γ) der vorige §,

tang δ = tang μ, alzoo K = L, tang μ: de grootste sleepkracht wordt dan gevonden, door de drukking op de gekoppelde raderen te vermenigvuldigen met den wrijvingscoëfficient der slepende wrijving over het spoor.

§ 167. Even als bij de ongekoppelde raderen, ontstaan er beurtelings versnellingen en vertragingen bij de beweging, doordien in sommige standen van de trekstang, het moment der kracht D grooter is dan dat van den last, en in sommige andere standen beneden dat moment komt; hieruit ontstaan dan, als het zwaartepunt van den wagen niet ter hoogte van de verbinding met de overige wagens die den last uitmaken, gelegen is, koppels, die eene galoperende beweging kunnen veroorzaken. Daar men evenwel ten minste twee stoomcilinders aan den wagen heeft, waarvan de krukarmen loodregt op elkander gerigt zijn, wordt de aangewezen werking op den wagen veel verminderd. Het blijft echter altijd verkieslijk het aangrijpingspunt der sleepkracht K, zooveel mogelijk op gelijke hoogte met het zwaartepunt van den wagen aan te brengen.

§ 168. Er bestaan echter nog andere oorzaken, die de regtlijnige voortgaande beweging van de stoomwagens verstoren. Wij hebben namelijk in de voorgaande beschouwingen ondersteld, dat al de krachten S, L, D enz. in eenzelfde vlak gelegen waren; dit is echter eigenlijk het geval niet. Het totale gewigt van den wagen kan men wel, evenals de sleepkracht K, onderstellen gelegen te zijn in het verticale vlak dat midden door den wagen gaat evenwijdig aan de rigting der beweging, en dat men het *middel-* of *centrale vlak* kan noemen, maar de stoomcilinders met hunne zuiger- en trekstangen liggen in vlakken evenwijdig aan het middelvlak. Zal het alzoo geoorloofd wezen de ontbindingen en zamenstellingen van krachten aan te nemen, waarvan wij ons hiervoren bediend hebben, dan moeten de genoemde krachten eerst in eenzelfde vlak worden overgebragt, en hierdoor ontstaan koppels, wier werking nog eenige beschouwing verdient.

Zij daartoe in Fig. 23, AA' de horizontale projectie van de drijfas, ML die van het verticale middelvlak, en ML de rigting waarin de stoomwagen zal voortbewegen; zij verder A,A' de steunpunten der drijfraderen op den grond, O,O' de aangrijpingspunten der krukarmen op de drijfas, OC en $O'C'$ projectiën van de krukarmen en CN, $C'N'$ die der trekstangen, en L het zwaartepunt

n den wagen. In de vorige §§ hebben wij al de krachten ge-
kend te werken in de vlakken AB of $A'B'$ der raderen; dit is
ook wel het geval met de krachten S, die den wederstand
an den grond voorstellen, maar niet met de overige. De krach-
n L en K, het gewigt namelijk van den wagen en de sleep-
racht, werken in het middelvlak ML, doch beide die krachten
unnen ieder voor de helft in de vlakken AB, $A'B'$ worden
ergebragt, door de oorspronkelijke, in twee gelijke evenver van
et middelvlak gelegene te verdeelen. De krachten $\frac{1}{2}$L werken dan
erticaal in de punten l en l', de krachten $\frac{1}{2}$K eveneens in de
lakken AB en $A'B'$, terzelfde hoogte als waarin de kracht K
erkelijk is aangebragt, zoodat de eenige wijziging, die de for-
nulen der voorgaande §§ ondergaan, alleen bestaat om daarin
oor L en K de helft te verstaan van het gewigt van den wa-
en en de helft van de trekkracht, en alsdan is ook D slechts de
rukking van de stoomspanning van één' stoomcilinder.

De krachten D die mede in de verticale vlakken AB en $A'B'$
worden overgebragt, kan men zonder groote onnaauwkeurigheid
beschouwen als nagenoeg horizontaal te blijven, en alzoo door
hare overbrenging in de vlakken AB en $A'B'$ ook alleen hori-
ontale koppels te leveren. De krukarmen OC en $O'C'$ zijn niet
venwijdig, maar zoodanig gesteld, dat zij met eene verticale lijn
oeken maken die 90° verschillen: is alzoo die bij O verticaal
naar boven gerigt, dan is die bij O' horizontaal en gerigt
lgens $O'N'$. Beweegt nu de as OO' met den wagen in de rig-
ng ML, dan werkt de kracht D op OC in de rigting CN, en die
$O'C'$ in de rigting $N'C'$; of liever, laatstgenoemde is juist op
en overgang uit de tegengestelde rigting, is dus eigenlijk op dit
ant gelijk nul, en verkrijgt de rigting $N'C'$ een oogenblik na-
at de krukstang $O'C'$ de lijn $O'N'$ is doorgegaan. Door het
erbrengen van D uit CN in AB, ontstaat dan een negatief
ppel $-AO\times D$, en eveneens door het overbrengen van D uit
N' in $A'B'$, een dergelijk negatief koppel; beide die koppels le-
eren dus te zamen een negatief koppel $-2AO\times D$, hetwelk men
het vlak der steunpunten A, A' der raderen op den grond mag
erbrengen. Door dan aan dit koppel den afstand der uiterste
sen tot arm te geven, kan men de krachten van dit koppel
oor de steunpunten der uiterste raderen op den grond doen
aan, waardoor deze eene zijdelingsche beweging zouden ver-

krijgen, die alleen door de wrijving der raderen en den weêrstand der opstaande randen kan belet worden.

Bij de verdere beweging van den wagen, waarbij de krukarm OC in het tweede en $O'C'$ in het derde kwadrant komt, werken de beide krachten D in NC en $N'C'$ in dezelfde rigting; de koppels door het overbrengen in de vlakken AB en $A'B'$ voortgebragt, verkrijgen een tegengesteld teeken en houden elkander in evenwigt. Maar als OC in het derde en $O'C'$ in het vierde kwadrant beweegt, werken de koppels weder in dezelfde rigting, maar zijn dan beiden positief en trachten den wagen eene zijdelingsche beweging naar de andere zijde te geven, als toen OC in het eerste kwadrant stond. Bij het opvolgend heen- en weêrgaan van den zuiger, werken er dus horizontale koppels, die den wagen eene slingerende beweging langs het spoor trachten te geven. Ter vermindering van die beweging is het dus goed, het vlak der krukarmen zoo digt mogelijk bij de raderen te brengen en daarentegen de uiterste assen zoo ver mogelijk van elkander te verwijderen.

§ 169. Gedurende het ronddraaijen der krukarmen, is het moment der krachten D beurtelings grooter of kleiner dan tot het evenwigt vereischt wordt; zij brengen dus beurtelings versnellingen en vertragingen voort; in elk kwadrant kan men zich een' stand van den krukarm voorstellen, alwaar de kracht D juist in evenwigt is met den wederstand, zoodat wanneer de krukarm OC verticaal naar boven staat, het moment der kracht D grooter is dan het evenwigt vereischt, terwijl dan juist het moment der kracht D aan den arm $O'C'$ gelijk nul is, en aan die zijde vertraging zou ontstaan. Bij het ronddraaijen vermindert het moment aan OC en vermeerdert bij $O'C'$; de versnellende kracht aan OC kan men voorstellen door eene horizontale kracht in het vlak AB, ter hoogte van het zwaartepunt van den wagen, en de vertragende bij $O'C'$, door eene dergelijke kracht in tegengestelde rigting in het vlak $A'B'$. Beide die krachten door het bijvoegen van koppels in het vlak LM overgebragt zijnde, zal uit de som dier krachten blijken of de wagen versnelt of vertraagt. Zijn die krachten te zamen juist gelijk aan den weêrstand, zoo behoudt de wagen zijne snelheid, zonder verandering. De twee door deze overbrenging voortgebragte koppels zijn van hetzelfde teeken. Blijkt bijv. dat voor zekeren stand van den krukarm uit de formule (2) van § 163,

dat zekere kracht K′ als sleepkracht met de drukking D in evenwigt is, dan zal, zoo er werkelijk slechts eene sleepkracht K noodig is, om den halven last achter den stoomwagen in evenwigt te houden, eene versnellende kracht K′—K ontstaan, en op dezelfde wijs eene versnellende kracht K″—K in het vlak $A'B'$. De som dezer krachten is dan K′+K″—2K, voorstellende de werkelijk versnellende kracht op de geheele massa, en het resulterende positieve koppel is $(K''-K')\times AO$.

Dit koppel tot een ander teruggebragt, werkende in het vlak der steunpunten van de raderen op den grond, zal evenals dat voortvloeijende uit het overbrengen van de drukking D in het vlak der raderen, door beurtelings positief en negatief te zijn, eene slingerende beweging (*mouvement de lacet*) aan den wagen mededeelen. Om na te gaan of dit koppel de werking van het laatstgenoemde versterkt of vermindert, zoo merke men op, dat daar de drukkingen D gerekend worden altijd nagenoeg in horizontale rigting te werken, het moment van die drukking op het oogenblik alwaar de krukarm $OC=c$ een' hoek φ met eene verticale lijn maakt, zal zijn $(c\cos\varphi-\rho)D$, en alzoo uit de formule (2) van § 163 zal volgen:

$$K'=\frac{c\cos\varphi-\rho}{r}D-\frac{\rho}{r}P-\frac{\rho'}{r}P'$$

en

$$K''=\frac{c\sin\varphi-\rho}{r}D-\frac{\rho}{r}P-\frac{\rho'}{r}P';$$

alzoo:

$$K''-K'=\frac{c}{r}(\sin\varphi-\cos\varphi)D.$$

Het koppel $(K''-K')\times AO$ is dus negatief van $\varphi=0$ tot $\varphi=45°$, positief van $\varphi=45°$ tot $\varphi=90°$, en zoo bij afwisseling voor elke vermeerdering van 45° bij den boog φ. Nu is het koppel uit het overbrengen der krachten D uit NC en $N'C'$ in AB en $A'B'$ negatief van 0° tot 90°, nul van $\varphi=90°$ tot $\varphi=180°$, positief van $\varphi=180°$ tot 270° en wederom nul van 270° tot 360°. Alzoo werken de koppels in dezelfde rigting van 0° tot 45°, in tegengestelde rigting van 45° tot 90°; van 90° tot 180° werkt er slechts één koppel, van 180° tot 225° werken zij in tegengestelde en van 225° tot 270° in dezelfde rigting, terwijl er van 270° tot 360° wederom slechts één koppel werkt.

§ 170. Er bestaan nog andere oorzaken waardoor de beweging van de stoomwagens hare regelmatigheid verliest, en die aanleiding tot spoorverlating kunnen geven. De krukarmen aan de drijfas verbonden, hebben een vrij aanmerkelijk gewigt, en als die as met eene groote snelheid ronddraait, kan de daardoor veroorzaakte middelpuntvliedende kracht den wagen wel niet uit het spoor ligten, maar evenwel, door beurtelings de drukkingen op de veren die het raam aan de assen verbinden, te vermeerderen of te verminderen, aanleiding geven dat de voor- en achtereinden van het raam op- en neêrgaan, en alzoo het zoogenaamde galopperen van den wagen voortbrengen, hetgeen de spoorverlatingen zeer kan bevorderen. Door het plaatsen van tegenwigten tusschen de speken van de drijfraderen, kan men de nadeelige werking dier middelpuntvliedende krachten tegengaan.

Ten einde de grootte en rigting der voortgebragte middelpuntvliedende krachten op de drijfas AA' te berekenen, gebruiken wij de formulen van § 114 der Dynamica, 2e druk. Volgens die formulen zal eene massa P, draaijende met eene hoeksnelheid v om de as der z van drie regthoekige coördinaten-assen, de navolgende krachten en koppels voortbrengen: eene kracht X_1 langs de as der x, aangewezen door:

$$X_1 = \frac{v^2}{g} aP,$$

zijnde a de afstand van het zwaartepunt tot het vlak der yz; eene kracht Y_1 langs de as der y, aangewezen door:

$$Y_1 = \frac{v^2}{g} bP,$$

zijnde b de afstand van het zwaartepunt tot het vlak der xz; een koppel L_1 loodregt op de as der x, voorgesteld door:

$$L_1 = -\frac{v^2}{g} \int yz\,\partial m;$$

en een koppel M_1 loodregt op de as der y, voorgesteld door:

$$M_1 = \frac{v^2}{g} \int xz\,\partial m;$$

zijnde ∂m het differentiaal der massa P.

wij nu den oorsprong der coördinaten in het midden M e as der x langs ML in horizontale rigting, de posi- er y loodregt op LM en gerigt naar boven, en het ge- A der as AA' als positieve as der z; verder e de af- M van den krukarm tot den oorsprong; de massa van karm door zijn gewigt uitgedrukt, stellen wij m, en gemak der berekening beschouwen wij die massa als ver- in zijn zwaartepunt; dit is wel niet volkomen juist, doch uwkeurig genoeg. Zij α de hoek van de lijn uit dit zwaar- op de as neêrgelaten met de as der y, en c' de afstand zwaartepunt tot de drijfas, dan is voor dien krukarm de l

$$\int yz\partial m = ec'm\cos\alpha.$$

ns is:

$$\int xz\partial m = ec'm\sin\alpha,$$

den tweeden krukarm in O' is de hoek van de as der y lijn uit zijn zwaartepunt tot de drijfas $90°+\alpha$, en e nega- zoo:

$$\int yz\partial m = -ec'm\cos(90°+\alpha) = ec'm\sin\alpha,$$
$$\int xz\partial m = -ec'm\sin(90°+\alpha) = -ec'm\cos\alpha;$$

men voor beide krukarmen te zamen heeft:

$$\int yz\partial m = mec'(\cos\alpha+\sin\alpha),$$
$$\int xz\partial m = mec'(\sin\alpha-\cos\alpha).$$

fstand a van het gezamenlijk zwaartepunt der twee massa's het vlak der yz, is $\frac{1}{2}c'(\sin\alpha+\cos\alpha)$, en tot dat der xz of $\cos\alpha-\sin\alpha)$. Door het in plaats stellen der hiervoren ezen waarden, verkrijgen wij dan:

$$X_1 = \frac{v^2}{g}mc'(\sin\alpha+\cos\alpha),$$
$$Y_1 = \frac{v^2}{g}mc'(\cos\alpha-\sin\alpha),$$
$$L_1 = -\frac{v^2}{g}mec'(\cos\alpha+\sin\alpha),$$
$$M_1 = \frac{v^2}{g}mec'(\sin\alpha-\cos\alpha).$$

De kracht $X_{,}$ kan men in twee even groote krachten $\frac{1}{2}X_{,}$ ver-deelen, werkende in de middelpunten der raderen in horizontale rigting, en geeft men aan het koppel $Y_{,}$ loodregt op de as der y den arm $AA'=2b$ ($AM=b$ zijnde), dan komt, door dit koppel in het vlak der xz te stellen en de krachten door A en A' te rigten, in A de kracht $+\frac{1}{2}X_{,}-\frac{1}{2}\frac{M_{,}}{b}$ en in A' de kracht $\frac{1}{2}X_{,}+\frac{1}{2}\frac{M_{,}}{b}$

en dus in $A_{,}$: $\frac{v^2}{2g}c'm\left\{(\sin\alpha+\cos\alpha)-\frac{e}{b}(\sin\alpha-\cos\alpha)\right\}$,

en in A': $\frac{v^2}{2g}c'm\left\{(\sin\alpha+\cos\alpha)+\frac{e}{b}(\sin\alpha-\cos\alpha)\right\}$.

De kracht $Y_{,}$ in M verticaal naar boven werkende op dezelfde wijs met het koppel $L_{,}$ verbindende, verkrijgt men:

in A: $\frac{1}{2}Y_{,}+\frac{L_{,}}{2b}=\frac{v^2}{2g}c'm\left\{(\cos\alpha-\sin\alpha)-\frac{e}{b}(\cos\alpha+\sin\alpha)\right\}$,

in A': $\frac{1}{2}Y_{,}-\frac{L_{,}}{2b}=\frac{v^2}{2g}c'm\left\{(\cos\alpha-\sin\alpha)+\frac{e}{b}(\cos\alpha+\sin\alpha)\right\}$.

De beide krachten in A kunnen vereenigd worden tot ééne kracht R, aangewezen door:

$$R=\frac{v^2}{2g}c'm\sqrt{2\left(1+\frac{e^2}{b^2}\right)},$$

terwijl die in A' eene gelijke kracht R geven. De kracht R in A maakt met de as der y een' hoek ϕ, aangewezen door de vergelijking:

$$\tang\phi=\frac{X_{,}-\frac{M_{,}}{b}}{Y_{,}+\frac{L_{,}}{b}}=\frac{b(\sin\alpha+\cos\alpha)-e(\sin\alpha-\cos\alpha)}{b(\cos\alpha-\sin\alpha)-e(\cos\alpha+\sin\alpha)}$$
$$=\frac{(b-e)\sin\alpha+(b+e)\cos\alpha}{(b-e)\cos\alpha-(b+e)\sin\alpha},$$

en de kracht R in A' een' hoek, aangewezen door de vergelijking

$$\tang\phi'=\frac{X_{,}+\frac{M_{,}}{b}}{Y_{,}-\frac{L_{,}}{b}}=\frac{b(\sin\alpha+\cos\alpha)+e(\sin\alpha-\cos\alpha)}{b(\cos\alpha-\sin\alpha)+e(\cos\alpha+\sin\alpha)}$$
$$=\frac{(b+e)\sin\alpha+(b-e)\cos\alpha}{(b+e)\cos\alpha-(b-e)\sin\alpha}.$$

Stellende nu:

$$\frac{b-e}{b+e} = \text{tang}\,\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

dan vindt men: $\varphi = 90° + \alpha - \gamma$ en $\varphi' = \alpha + \gamma$.

Om de werking der krachten R te vernietigen, moet er eene even groote kracht in tegengestelde rigting worden aangebragt. Indien men alzoo (Fig. 23ª) Oe loodregt stelt op den krukarm OE van het rad, hoek $tOe = \gamma$ neemt, dan moet het tegenwigt op het verlengde OT van Ot worden gesteld. Voor den krukarm $O'E'$ (Fig. 23ᵇ) moet de hoek $EOt' = \gamma$ zijn, en het tegenwigt op het verlengde $O'T'$ van $O't'$ gesteld worden. De grootte T van dit tegenwigt wordt gemakkelijk gevonden, zoodra de afstand t, waarop zijn zwaartepunt uit de as O gelegen is, gegeven is: want de middelpuntvliedende kracht door zulk een tegenwigt langs OT voortgebragt, is:

$$\frac{v^2 t}{g}\,\text{T};$$

alzoo moet dan voor het evenwigt:

$$\text{T}t = \tfrac{1}{2} c'm \sqrt{2}\left(1 + \frac{e^2}{b^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

zijn. De hoek γ is gemakkelijk te construeren; men heeft slechts $OP = OA$ loodregt op AA' (Fig. 23) te stellen en $A'P$ te trekken, dan is hoek $PA'O = \gamma$.

Bij sommige stoomwagens worden de stoomcilinders aan de buitenzijde aangebragt, en alsdan wordt γ negatief, doch blijft overigens de berekening dezelfde.

§ 171. De formule (2) van de vorige § wordt door sommigen opgegeven met eene andere waarde voor de grootheden die hier in de formule voorkomen: door namelijk voor $c'm$ te nemen, niet zooals hier het product van het gewigt des krukarms met den afstand van zijn zwaartepunt tot de drijfas; maar ditzelfde moment $c'm$, opgeteld met het moment van de drukking, door het gewigt van de trekstang op het eind E van den krukarm uitgeoefend, en zelfs wordt ook nog wel bij die drukking het gewigt van den stoomzuiger en der stang gevoegd, omdat die bij de omdraaijing van de drijfas eene beweging verkrijgen, afge-

zonderd van de overige deelen van den wagen. Het ongeoorlo
hiervan is gemakkelijk in te zien: de formule (2) is afge
uit de werking van massa's die om eene as draaijen, en ind
alzoo de stoomzuiger, trekstang enz. mede om de drijfas draaid
dan voorzeker zou hun moment van traagheid om die as in
kening komen; doch dit is geenszins het geval. De drukki
door het gewigt dier deelen op den krukarm voortgebragt, wee
altijd in dezelfde rigting, namelijk verticaal naar beneden, en k
dus nooit door de werking van een tegenwigt, dat gedurende zij
omdraaijing in geheel andere rigtingen werkt, worden opgewoge
Daarenboven is de drukking door het gewigt van de trekst
en den zuiger in E uitgeoefend, standvastig, welke ook de snelhe
zij, maar de werking van het tegenwigt hangt geheel af van
ronddraaijende snelheid van de drijfas.

§ 172. Wij hebben bij dit alles de wrijvingen van den stoo
zuiger in den cilinder, die der stoomschuiven enz. niet in aa
merking genomen, omdat die tegenstanden op de algemeene u
komsten geen' invloed hebben. Door die wrijvingen namel
wordt de kracht volgens CN of NC op het rad minder dan
stoomspanning in den cilinder, doch alsdan vermindert ook
dezelfde mate de kracht in tegengestelde rigting op den wag
De wrijving bij voorbeeld van den stoomzuiger langs den binne
omtrek des cilinders, maakt dat de kracht waarmede de zui
wordt voortgedreven, kleiner is dan de stoomspanning op d
zuiger, terwijl de bodem des cilinders echter eene drukking ge
aan die spanning ondergaat; maar de wrijving van den zui
doet den binnenomtrek des cilinders eene drukking ondergaan
tegengestelde rigting van de drukking op den bodem, waard
de cilinder van den bodem zou afgerukt worden, indien de v
binding aldaar niet sterk genoeg ware. Deze kracht geeft, afg
trokken van die op den bodem, eene kracht juist gelijk aan die d
de zuigerstang op de kruk wordt uitgeoefend. Evenzoo is
gelegen met de wrijvingen en tegenstanden op de overige dee
van den wagen.

§ 173. Wij kunnen hier niet in al de bijzonderheden betr
kelijk de stoomwagens treden; wij geven dus nog slechts e
korte beschrijving der voornaamste deelen van dit zoo zam
gestelde en kunstige werktuig, en verwijzen overigens naar e

eer uitvoerige beschouwing der stoomwagens van de Ingenieurs LAGRAT en PETIET (1).

In Fig. 24 is eene doorsnede over de lengte van eenen stoomwagen voorgesteld; gedragen door zes raderen A, A' enz.; op de middelste raderen werkt de stoom, de vier buitenste raderen zijn van opstaande randen of flenzen voorzien, om niet van de sporen af te glijden, doch de drijfraderen niet altijd. De wagen bestaat uit een sterk regthoekig raam, waarvan men de dwarsliggers bij B en B' in doorsnede ziet; dit raam rust, door middel van zeer sterke wagenveren, op de assen der raderen, en wel op de einden die buiten de raderen uitkomen, zoodat de raderen aan de binnenzijde van het raam staan. Aan dit raam zijn vuurhaard, ketel en stoomcilinders verbonden; de raderen zijn aan de assen bevestigd om het spoor juist te houden; de assen draaijen in pannen aan de veren verbonden. Er zijn twee stoomcilinders wier zuigerstangen op de as van de middelste raders werken; daartoe is die as op twee plaatsen uitgebogen, vormende twee krukarmen, waaraan de zuigers door middel van krukstangen werken; in de plaat is duidelijkshalve slechts één krukarm lL en ééne krukstang aangewezen.

De vuurhaard, in doorsnede bij CC' enz. voorgesteld, vormt eene prismatische ruimte, ingesloten door eenen dubbelen wand van platen op de gewone wijze geklonken; de ruimte tusschen dien dubbelen wand heeft gemeenschap met den ketel en is alzoo met water gevuld. Vijf zijden van den haard deelen alzoo de warmte, door de brandstof ontwikkeld, aan het water mede. Om de wanden den vereischten wederstand tegen de werking van den stoom te geven, zijn zij door een aantal bouten aan elkander verbonden, zooals in de Figuur is aangewezen. De zesde of onderste zijde van den vuurhaard wordt door den rooster CC' gevormd. Bij C'' is de deur waardoor de brandstof wordt ingebragt. Verder is de ketel met buizen voorzien, zooals in § 152 is verklaard.

§ 174. De stoom verzamelt zich in het bovenste gedeelte EE' van den ketel, moetende het water ten minste de bovenzijde $C'C''$ van den vuurhaard bedekken. De hevige beweging die

(1) *Guide du mécanicien conducteur de machines locomotives.* Paris 1840, te Brussel nagedrukt. Zie evenceens den Waterbouwkundigen Cursus der Akademie.

het kokend water bij de vorming van den stoom ondergaat, waartoe de beweging van den wagen ook bijdraagt, zou ligtelijk met den stoom tevens water naar den stoomcilinder brengen. Om dit zooveel mogelijk tegen te gaan, is de uitgang *F* van den stoom merkelijk hooger dan het overige gedeelte van den ketel; van daár wordt enkel stoom door de buis *FGH* naar den stoomcilinder gebragt.

Overigens bevinden zich op den ketel de twee veiligheidsklepjes *S* en *T*; laatstgenoemde is buiten bereik van den stoker of bestuurder van den wagen; terwijl de eerste door dezen naar goedvinden kan geligt of gesloten worden. Het aanbrengen van gewigten om de klep *S* te sluiten, heeft wegens de beweging van het werktuig zwarigheid; gewoonlijk is de arm *cd* ergens bij *d* aan eene sterke spiraalveer verbonden, waardoor met het neêrschroeven van het punt *d*, de drukking op de klep toeneemt; gewoonlijk bedraagt de stoomspanning tusschen de 3 en 8 dampkringen.

§ 175. De stoom wordt door de buis *GH* in eene ruimte gebragt, zijdelings boven den stoomcilinder bij *I* onder de stoomschuif *p* uitkomende; deze ruimte altijd met den stoom van den ketel in gemeenschap zijnde, brengt bij het heen- en weêrbewegen van die schuif *p*, den stoom beurtelings aan de achter- en voorzijde van den stoomzuiger *K*. In de Figuur werkt de stoom op de voorzijde, terwijl de ruimte achter den zuiger bij *K*, gemeenschap heeft met de buis *WU*, waardoor de stoom van die achterzijde in den schoorsteen ontwijkt. De groote snelheid waarmede dit geschiedt, sleept de lucht in de schoorsteenpijp rondom de buis *WU* naar boven; hierdoor ontstaat een sterke luchtstroom uit den vuurhaard door de buizen *ab*, *a'b'* enz., waardoor voornamelijk het vuur in den haard blijft branden, dewijl de schoorsteen zelf te laag is om alleen een' sterken luchtstroom voort te brengen.

Bij het boveneind der buis *U* is eene klep *V*, die, door middel eener staaf *nv*, door den bestuurder kan geopend of gesloten worden, om den luchtstroom in den schoorsteen naar goedvinden te matigen.

De toevoer van stoom door de buis *GH*, wordt eveneens geregeld met een plaat of schuif *G*, door middel eener kruk, bij *n* buiten den ketel stoomdigt uitkomende, die naar goedvinden kan gedraaid worden. Er bevindt zich namelijk bij *G* in de buis eene vaste plaat, met eenige openingen voorzien; de beweeglijke

teruggaat; hierdoor is bij het teruggaan van den zuiger ree een gedeelte van den stoom weggevloeid, die anders bij het teru gaan eerst verdreven moest worden; de zuiger gaat dan gema kelijker terug. Evenwel vindt men bij deze inrigting slechts zeer groote snelheden eenig voordeel, bij zeer kleine echter een nadeel. Bij zeer groote snelheden moet de stoom snel ontsnappe en alzoo de stoom in den cilinder werkelijk meer spanning he ben dan in de pijp *WU*, hetgeen eene tegenwerking op d zuiger veroorzaakt. Het *vóór zijn* van de schuif bedraagt echt meestal zeer weinig; de ondervinding heeft geleerd dat eene op ning van zes strepen lengte, als de zuiger het eind van zijn slag heeft bereikt, voldoende is.

§ 178. Indien bij denzelfden stand van den zuiger, de stoo aan de zijde *u'* invloeide en bij *u* kon ontsnappen, dan zou draaijende beweging der kruk juist tegengesteld zijn; deze om keering bereikt men door de schuif, bij denzelfden stand des zu gers, even zooveel achterwaarts van haren middelbaren stand brengen, als zij nu voor dezen stand is. Dit verkrijgt men doo het excentriek op den knop *m*, in plaats van op het einde *o* de tuimelaars *mno* te doen werken. De excentriekstang *ef* heef daartoe eene tweede inkeeping *o'*, en wordt door middel van eene tuimelaar *rvq* opgeligt; de vorken *t*, *t'* die *m* omvatten, leide dan dien knop *m* naar *o'* en doen hem aldaar in het excentriek vatten. Zoolang nu de tuimelaar *rvq* in denzelfden stand blijft verandert de rigting der beweging niet. Door het trekken aa de stang *r*, die achter bij den bestuurder uitkomt, kan deze beweging naar goedvinden omkeeren. Bij *o* zijn eveneens tw vorken om den knop *o* te vatten. Men keert de beweging o bij het ophouden, als men de verkregen snelheid van het wer tuig zooveel te spoediger wil stuiten.

Er bestaan echter vele andere inrigtingen tot omkeering beweging, die wij met stilzwijgen voorbijgaan; men vindt die, ev als vele andere bijzonderheden, in het aangehaalde werk v Flachat en Petiet.

§ 179. Het water wordt in den ketel gebragt door eene p *MPN* (Fig. 24); bij *N* is eene perspomp die door den stoomzu ger wordt bewogen, zijnde de zuigerstang dier pomp aan d stoomzuiger vereenigd; om geene verwarring in de figuur te g ven is dit gedeelte niet afgebeeld. Bij *P* is eene kraan, om d

Wij hebben reeds (in § 23 en volgende) uitvoerig doen zien, welk verlies er door de wrijving bij de gewone kruk bestaat, en hoeveel dit het verlies overtreft, in geval dat de kracht altijd loodregt op den arm der kruk blijft. Alstoen is gebleken dat dit verschil een zeer gering gedeelte van den totalen arbeid is, en alzoo meestal buiten rekening kan blijven.

Door de stoom onmiddellijk eene ronddraaijende beweging te doen voortbrengen, kan er wel eenig minder verlies aan arbeid door het verminderen der wrijving ontstaan, doch men zal daardoor nooit meer kunnen winnen dan het verschil tusschen de wrijvingen van zulk eene inrigting en de wrijving door het gebruik der kruk veroorzaakt, waarbij nog de winst zou kunnen gevoegd worden, verkregen door het ontwijken van kleine botsingen, die bij de kruk niet geheel te vermijden zijn. Zoodra namelijk de krukarm juist in de rigting der kracht komt, heeft er een overgang plaats in de rigting van de drukking op de krukas, omdat juist op dat oogenblik de rigting van de kracht omkeert; bestaat er dus eenige speling van de as in zijne pannen, dan heeft er eenige botsing plaats, die wel nooit volkomen kan ontweken, maar bij goede werktuigen toch bijna onmerkbaar kan gemaakt worden. Er is alzoo weinig voordeel van de ronddraaijende stoomzuigers boven de heen- en weêrgaande te verwachten; levert dus eerstgenoemde inrigting geen andere voordeelen, zooals meerdere beknoptheid of onkostbaarheid enz. der zamenstelling, op, dan kan men het tijdverspilling rekenen, zamenstellen uit te denken, waarin de gewone heen- en wedergaande stoomzuigers door eenen ronddraaijenden vervangen worden. Ja zelfs, daar wij zullen aanwijzen dat er bij de ronddraaijende zuigers meer wrijvingen ontstaan dan bij de heen- en wedergaande, zoo kan men verzekerd wezen, al thans voor zoover de tot nu toe uitgedachte zamenstellen aangaat, dat er geen winst, maar eer verlies aan arbeid door de ronddraaijende beweging zal ontstaan. Wij zullen ons dus niet lang ophouden bij de beschrijving van de verschillende zamenstellen die men bedacht heeft om onmiddellijk eene ronddraaijende beweging door den stoom te verkrijgen, maar alleen een der meest bruikbare toestellen verklaren.

§ 181. Zij *A* (Fig. 26) de as waaraan men eene ronddraaijende beweging wil geven; rondom die as is eene ringvormige ruimte *I*, *I*, *I*, waarin een zuiger *Figh*, naauwkeurig sluitende kan

ewegen. Deze stoomdigte sluiting van den zuiger tegen de grond-lakken van den ring, kan door hennepvlechten langs den om-rek *FB* en langs *Ba* verkregen worden; de overige deelen van den zuiger kunnen eenige speling hebben. De aansluiting van het gedeelte *Ba* heeft plaats volgens de zijden van eenen regt-hoek, wier twee zijden *Ba* langs de grondvlakken van den ring of cilinder wrijven, terwijl de derde zijde tegen het ronde opper-vlak *I*, *I*, *I*, *I*, van die ruimte aansluit. Verder bevindt zich nog in die ruimte eene vaste afscheiding *iD*, die niet met de as ronddraait, maar stoomdigt bij *i* tegen haar aansluit. Deze af-scheiding of klep verdeelt de ruimte *I*, *I*, *I*, *I* in twee deelen; kan men nu het eene deel *Dg* met stoom vullen en het andere *BIFC* gemeenschap met het koelvat geven, dan zal de eene zijde van den zuiger eene veel sterkere drukking ondergaan dan de andere, en de as zal ronddraaijen.

De zuiger bijna of tegen de klep *Di* gekomen, drukt, met zijn voorste gedeelte *h*, de klep in eene daartoe aangebragte verdieping terug. De zuiger voorbij de klep gekomen, geeft aan deze gele-genheid, om, glijdende langs het gedeelte *gi*, haren vorigen stand te hernemen; terwijl gedurende den tijd waarin de zuiger de afscheiding voorbijgaat, de toevoer van stoom uit den ketel, door de klep bij *S*, afgesloten blijft.

De verbindingen met den ketel en het koelvat zijn in de figu-ren bij *S* en *C* aangewezen, kunnende die deelen dezelfde gedaante en inrigting behouden als bij de gewone werktuigen; ook kan hier de stoom naar goedvinden met uitzetting en hooge of lage drukking werken.

Terwijl de zuiger onder de afscheiding doorgaat, drukt er geen stoom, en de as ondergaat geene drukking, doch de eens mede-gedeelde beweging doet haar voortbewegen, en geeft gelegenheid om de klep weder in haren vorigen stand te herstellen. Bij dit herstellen wordt de ruimte achter den zuiger met stoom opgevuld en de zuiger weder voortgedreven.

§ 182. Welke ook de gedaante zij van het oppervlak des zui-gers waartegen de stoom drukt, de resultante van al de gelijke drukkingen, die elk punt van dit oppervlak ondergaat, is dezelfde alsof de stoom tegen een plat vlak *Ba*, de cilindervormige ruimte afsluitende, werkte (Statica § 127); die resultante werkt dus in het zwaartepunt van dit platte vlak; en daar de inhoud der ci-

lindervormige ruimte, voor zoover zij door den zuiger wordt doorloopen, gelijk is aan den weg van het zwaartepunt, vermenigvuldigd met den inhoud van het platte oppervlak, zoo zal dan de arbeid van zekere hoeveelheid stoom, die den zuiger een' zekeren weg doet afloopen, gelijk zijn aan het product van dien weg met de uitgeoefende drukking; volmaakt op dezelfde wijs als bij den gewonen regten cilinder met heen- en weêrgaande beweging. Is er dus geene besparing van arbeid, door vermindering van wrijving of door besparing van verloren ruimte (in § 133 door *ac* voorgesteld), dan geven de ronddraaijende zuigers geen voordeel boven de gewone, doch evenmin ook eenig nadeel, zooals door sommigen gesteld wordt, die den misslag begaan van de resultante der drukkingen door den stoom op den zuiger uitgeoefend, niet in het zwaartepunt van het gedrukte oppervlak des zuigers te stellen, maar in een punt digter bij de as, hetgeen echter onjuist is.

§ 183. De ronddraaijende zuiger wrijft met drie zijden van zijnen omtrek langs de binnenruimte die hij doorloopt, terwijl daarenboven de vaste afscheiding ook nog tegen de as wrijft, hetgeen alzoo overeenkomt met de wrijving langs de vier zijden van eenen regthoek, die *Ba* tot hoogte en de lengte van den cilinder tot basis heeft; indien derhalve de omtrek van dien zuiger dezelfde was als van eenen gewonen ronden zuiger, bij heen- en weêrgaande beweging, dan zou ook de uitwerking der wrijving in beide soorten van werktuigen dezelfde wezen. Doch bij gelijke werktuigen van gelijke kracht en op gelijke wijze ingerigt, moeten de oppervlakten der zuigers dezelfde zijn; en daar bij de ronde zuigers de omtrek kleiner is dan bij regthoekige van gelijken inhoud, zoo zal dan de wrijving des zuigers bij de rondgaande, grooter zijn dan bij de heen- en weêrgaande. Daarbij komt nog de wrijving van den omtrek *FB* langs de bodems van den cilinder en van de as, op de punten alwaar zij buiten die bodems uitkomt, welke wrijving men voor het minst gelijk kan stellen aan de wrijving van de gewone zuigerstang door de hennepdoos, gevoegd bij die aan den arm der kruk. Daarentegen vermijdt men de wrijvingen der stoomschuiven en van de daaraan verbonden toestellen, terwijl men alleen nog eenige kracht noodig heeft om de klep *D* te bewegen, die mede eene stoomdigte sluiting langs de bodems van den cilinder heeft. Verder ontwijkt men de wrijvingen van den hefbalk in zijne tappannen, en van

stangen van het parallelogram, die echter nooit zeer aanzienlijk zijn.

Het hier aangewezen zamenstel zal dus weinig of geen voordeel boven den gewonen of heen- en weêrgaanden zuiger kunnen hebben. Men zou, door algemeen de besparing van arbeid te berekenen, die uit de weglating der verschillende deelen van het gewone werktuig voortvloeit, in zeer ingewikkelde formulen vervallen; doch men kan, door op een bijzonder voorbeeld de wrijvingen te berekenen, zich overtuigen dat die wrijvingen, en alzoo de besparingen van arbeid gering zijn. Volgens den Ingenieur Pambour kan men bij de gewone werktuigen, de gezamenlijke wrijving, door den last op de verschillende tappannen voortgebragt, op 0,14 stellen van de drukking door den last op den stoomzuiger uitgeoefend; nu zal men wel door eene andere inrigting van het werktuig den coëfficient 0,14 kunnen verminderen, doch nooit geheel kunnen wegnemen; het grootstmogelijk voordeel kan dus nooit meer dan 0,14 van den last bedragen. Volgens dienzelfden Ingenieur is de drukking op den vierkanten duim, die bij werktuigen van kleine afmetingen, de wrijvingen van den stoomzuiger, den condensatie-toestel enz. kan overwinnen, mede teruggebragt tot eene kracht op den zuiger, omtrent 0,105 pond; daar nu de drukking van één dampkring nagenoeg één pond op den vierkanten duim bedraagt, zoo kan, al verviel ook hier alle tegenstand, de aanwinst niet veel meer bedragen dan 0,1 van de stoomdrukking.

§ 184. Men heeft nog wel als verlies aan arbeid voorgesteld het heen- en weêrbewegen van den zuiger en hefbalk, die telkens van de beweging in ééne rigting, moeten gebragt worden tot eene beweging in de tegengestelde rigting, waartoe men meende arbeid noodig te hebben. In de berekeningen van § 133 en volgende, is echter van deze omstandigheid geene melding gemaakt, omdat werkelijk, zoodra er gedurende de beweging geene botsingen ontstaan, er geen verlies van arbeid bij de beweging der onderscheidene deelen van een werktuig plaats heeft, mits slechts de beweging eenparig zij, of uit perioden bestaa alwaar de snelheid der deelen wederom dezelfde wordt. Als namelijk de beweging van den hefbalk, zuiger enz. vertraagt, dan wordt òf de drukking op den tegenstand grooter, en er wordt dus meer arbeid verrigt, òf wel wordt de spanning van den stoom minder en

daardoor minder stoom verbruikt, doch in geen dezer gevallen gaat er arbeid verloren; integendeel is er dan winst, die echter bij het opvolgend versnellen, na de vertraging, weder verloren gaat.

§ 185. Men zou ook eenig verlies kunnen vermoeden bij de heen- en weêrgaande beweging van den zuiger, indien de stoom, na op de eene zijde, beweging te hebben voortgebragt, reeds op de andere zijde begon te drukken, vóór dat de zuiger het einde van zijnen slag had bereikt, waardoor dan de drukking, op de eene zijde voortgebragt, aan de andere zijde vernietigd wordt.

Indien werkelijk bij deze omstandigheid, de stoom aan de zijde waarop hij den zuiger drijft, tevens toegang tot den verkoelingstoestel of tot den dampkring verkreeg, zou hierdoor verlies aan arbeid ontstaan; omdat alsdan een gedeelte stoom, vóór dat hij gewerkt had, reeds tot water zou overgaan of in de lucht vervliegen; maar gebeurt dit niet, en heeft er alleen eene tegendrukking aan de andere zijde door den stoom plaats, dan zal hierbij geen verlies aan arbeid ontstaan. Want verkrijgt de stoom eerder toegang tot de tweede zijde van den zuiger, dan komt er te minder aan de eerste zijde, en er wordt dan minder stoom bij de verkoeling vernietigd; terwijl de stoom aan de andere zijde te vroeg komende, door de nog voortgaande beweging van den zuiger, weder naar den ketel teruggedrongen en opgehoopt wordt. Hierbij heeft dan wel op het oogenblik zelf verlies aan arbeid plaats, maar de teruggedreven stoom werkt dan ook met des te meer spanning bij den volgenden slag. De arbeid die bij het te vroeg instroomen wordt weggenomen, komt bij het teruggaan van den zuiger weder ten goede.

Alleen door het vereenvoudigen der deelen en het verminderen der wrijvingen, zal men besparing van arbeid kunnen verkrijgen; evenwel zal de geheele winst bij de gewone werktuigen van lage drukking zonder uitzetting, zooals in § 145 gebleken is, niet meer dan omtrent de helft van den totalen arbeid door den stoom geleverd, bedragen kunnen.

Eene andere bron van verlies is de verspilling van de warmtestof bij het voortbrengen van den stoom. Kon men alle verlies door den schoorsteen enz., beletten, dan zou dezelfde hoeveelheid brandstof merkelijk meer stoom kunnen leveren. In het verbeteren der vuurhaarden zal dan niet minder de verbetering der stoomwerktuigen te zoeken zijn.

5.) *Stoommeters.*

§ 186. Het meten van de stoomdrukking op den stoomzuiger ven is in meer dan één opzigt nuttig. Uit die spanning kan n onmiddellijk den arbeid van den stoom op den zuiger gerende één of meer zuigerslagen opmaken, en door de vergelijng daarvan met den geleverden arbeid van het werktuig, nagaan elk verlies er geleden wordt door het in beweging brengen der huiven, condensatie- en voedingtoestellen enz.; men kan daarnor de verschillende aan die deelen gegeven inrigtingen beoordeelen en vergelijken. Werkt de stoom bij uitzetting, dan zal nen door het meten der stoomdrukking gedurende de achtervolgende tijdpunten van den zuigerslag, de verandering der stoomdrukking, condensatie enz. kunnen beoordeelen.

Het meten der stoomdrukking op den zuiger geschiedt gemakkelijk door den zoogenoemden *stoommeter* (*indicator*) van WATT, bestaande hoofdzakelijk uit een klein, zeer zuiver uitgeboord cilindertje *AB* (Fig. 27), waarin een naauwkeurig passende zuiger, stoomdigt, doch met zoo weinig wrijving mogelijk beweegt. Om de zuigerstang *DC* is eene spiraalveer *EC* geplaatst, die, wanneer de stoom onder tegen het zuigertje *C* drukt, de vrije beweging van *DC* toelaat, doch tevens de drukking aanwijst door den stoom uitgeoefend. Zoo nà mogelijk tracht men, door eene goede bewerking en de vereischte lengte van de veer, te verkrijgen dat de zamendrukking van de veer evenredig is met de drukking op den zuiger, zoodat de hoogte, waarop het eind *D*, bij verschillende stoomdrukkingen gebragt wordt, te rekenen van eenig aangenomen nulpunt, evenredig aan die drukking is. De beweging van het punt *D* langs eene verdeelde schaal, zou dus reeds onmiddellijk de stoomdrukking doen kennen.

Om echter den arbeid van den stoom te kennen, moet ook nog de weg, door den stoomzuiger afgelegd, gemeten worden. Tot dat einde is er naast het cilindertje *AB* nog een ander *GH* gesteld, waarover een blad papier is gewonden. Deze cilinder is beweegbaar om zijne as, die, door middel van eene koord *ILM*, gewonden om het schijfje *IK*, bewogen wordt. Daartoe is de koord vastgemaakt aan eenig deel van het stoomwerktuig dat gelijkmatig met den stoomzuiger beweegt, bijv. eenig punt van den hefbalk *XX'* (Fig. 16ᵃ). Eene krulveêr in het schijfje *IK* ver-

borgen, doet den cilinder *GH* telkens teruggaan als de koord dit toelaat, zoodat de cilinder *GH* bij elken zuigerslag om zijne as een boogje beschrijft, evenredig aan de lengte van dien slag.

Aan de zuigerstang *CD* is bij *D* een horizontale arm *DF* verbonden, aan wiens einde een potlood is aangebragt, waarvan de punt zacht tegen het om den cilinder *GH* gespannen papier drukt. Beweegt nu de zuiger *C* niet, dan zal het potlood gedurende een zuigerslag eene horizontale lijn *ef* beschrijven, waarvan de lengte evenredig is aan die van den zuigerslag. Is nu tevens het cilindertje *AB* met den stoomcilinder van het werktuig in gemeenschap, doordien het met de pijp *PN* op het deksel van den stoomcilinder is geschroefd en de kraan *P* geopend is, dan zal de zuiger *C* door de stoomdrukking opwaarts bewegen, alsmede het potlood *F*, en dit zal op het papier *GH* eene kromme lijn beschrijven, waaruit de arbeid van den stoom is op te maken.

Zij namelijk (in Fig. 28) *ef* de horizontale lijn, beschreven als de zuiger *C* niet met den stoom van den grooten cilinder in gemeenschap is, en stellen wij, dat, als het potlood in *e* is, de stoom van den grooten cilinder, door het openen van de kraan *P*, plotseling op het zuigertje *C* drukt, daarop oogenblikkelijk tot in *g* rijst en alzoo de verticale lijn *eg* beschrijft. Blijft de stoomspanning nu verder onveranderd, dan zal het potlood gedurende den zuigerslag eene lijn *gh* evenwijdig aan *ef* beschrijven; ontstaat er dan weder plotseling, bij het einde van den slag, condensatie van stoom, dan zal de zuiger *C* onmiddellijk dalen en het potlood eene verticale lijn *hk* beschrijven, meer of minder onder de lijn *ef* reikende, naarmate de condensatie meer of min volkomen is. Blijft gedurende het terugkeeren van den stoomzuiger het luchtledige boven dien zuiger volkomen onveranderd, dan zal het potlood eene horizontale lijn *ki* beschrijven, evenwijdig aan *ef*, die dan in *i*, bij het einde van den slag weder in eene verticale lijn *cg* zal overgaan.

Dat echter door het potlood werkelijk nooit zulk een regthoek *ghik* beschreven wordt, behoeft geen betoog. De stoom wordt nooit volkomen gecondenseerd, alzoo daalt het potlood nooit tot op de lijn *ik*, die het volkomen luchtledige aanwijst, maar beschrijft eene lijn *on*, meer of min boven *ik*, naarmate de condensatie meer of min volmaakt is; verder begint de stoom reeds te

ór het einde van den slag aan de andere zijde van den stoom-
iger te werken, waardoor bij *o* de kromme lijn eenigzins afge-
nd wordt, en dewijl de stoom ook niet bij het begin van den
ng oogenblikkelijk met zijn vol vermogen drukt, verandert de
jn *eg* in eene andere *el*. Behoudt nu de stoom zijne spanning
edurende den verderen zuigerslag, dan zal de lijn *lm* evenwij-
ig aan *ef* blijven; maar, daar de stoom tegen het einde van den
lag al meer en meer wordt afgesloten, begint ergens bij *m* eene
aling, waardoor het potlood de afronding *mn* beschrijft. In plaats
lzoo van den regthoek *gk*, verkrijgt men eene kromme lijn *elmno*,
lie meer en meer tot den regthoek *gk* zal naderen, naarmate
iet werktuig meer de theoretische volkomenheid bereikt. Hier-
it kan men reeds het belang inzien aan de aanwijzingen van
den stoommeter verbonden: men zal onmiddellijk kunnen oor-
deelen, zoowel over de meer of minder volmaakte condensatie,
als over den invloed van het meer of minder gemakkelijk toe-
vloeijen van den stoom tot den stoomzuiger.

§ 187. Indien men nu aanneemt, dat de condensatie en stoom-
drukking dezelfde is, zoowel bij het opgaan als bij het neêrgaan
van den stoomzuiger; dan zal bijv. bij het opgaan, op het
oogenblik dat het potlood in *p* is, *pq* de drukking boven den
dampkring, en *qo* de tegendrukking in den condensor aanwijzen,
zoodat *po* de totale drukking op den stoomzuiger voorstelt; ver-
der zal, terwijl het potlood een zeer klein boogje *pt* beschrijft,
qr evenredig zijn aan den weg, gedurende dien tijd onder de
drukking *po* afgelegd, en diensvolgens is de inhoud van het strookje
pe evenredig aan het product van den weg met de drukking,
of aan den arbeid. Derhalve is dan ook de totale inhoud, door
de kromme lijn *elmfno* ingesloten, evenredig aan den geheelen
arbeid gedurende den zuigerslag geleverd.

Werkt de stoom bij uitzetting, dan zal de stoomdrukking
blijkbaar aanmerkelijk verminderen zoodra de afsluiting plaats
heeft; geschiedt dit bijv. op de helft van den slag, dan zal
(Fig. 29), zoodra het potlood in *h* is gekomen (*em* = *mf* zijnde),
de kromme lijn bij *h* sterk dalen en nagenoeg de gedaante *hi* ver-
krijgen. Ook hier zal dan de vorm der kromme lijn den juisten
invloed der uitzetting doen kennen (1).

(1) Zie over de juiste inrigting en het gebruik van den stoommeter: Kemper, *Handleiding tot de kennis van het stoomwezen* enz., Cursus der Akademie voor Zee- en Landmagt, §§ 261—267.

§ 188. Een ander vernuftig uitgedacht werktuig om den a van eenen stoomzuiger op te teekenen, is door PONCELET opgeg en door GARNIER verwezenlijkt. Het komt hoofdzakelijk o volgende neêr.

Eene horizontale schijf *AB* (Fig. 30) beweegt om eene ver as, en wel, door die as op de eene of andere wijs te verbinde de stang van den stoomzuiger, zoodat die schijf eene heen- weêrgaande beweging om het punt *O* verkrijgt, evenredig a lengte van den zuigerslag. Een tweede schijfje *EF*, loodreg het eerste gesteld, draait met zijne as *CD*, waaraan ergens schroefgangen zijn aangebragt, vattende op een getand rad en mende alzoo eene schroef zonder eind; het getande rad brengt de wijs der pasgangers, andere raderen in beweging, waardoo aantal omwentelingen van het schijfje *EF* wordt aangeteek Dit schijfje wordt door eene veer tegen de schijf *AB* gedr doch kan langs de as *CD* geschoven worden; blijft het op standvastigen afstand van het middelpunt *O*, dan zal het a omwentelingen der as *CD* evenredig wezen aan den boog door beschreven; doch verplaatst men tevens het schijfje *EF* langs ns, dan zal dit aantal evenredig zijn aan het product, uit de stand *OG* en den boog door *AB* beschreven. Wordt nu het schi *EF* voortgestuwd door den steel van een zuigertje, volmaakt lijk aan dat van den stoommeter van WATT, en zoodanig gesteld als de drukking nul is, het schijfje *EF* in *O* staat, dan zal aantal omwentelingen van *EF* evenredig zijn aan den arbeid den stoom. Is er nu een tweede stoommeter, die bij den ter gaanden slag het schijfje *EF* aan de andere zijde voorbij het p *O* beweegt, dan zal de arbeid van den stoom bij den teruggaa den slag, op dezelfde wijs gemeten worden; maar omdat dan vens de schijf *AB* in tegengestelde rigting draait, blijft het schi *EF* in dezelfde rigting draaijen. De teller of pasganger bij *D* dan altijd in denzelfden zin bewegen en den totalen arbeid durende zooveel tijd als men goedvindt, aanteekenen. Blijkbaar tevens door dezen toestel, even als bij dien van WATT, de krom lijn van den arbeid door een potlood op een strook papier a gewezen worden (1).

(1) Zie eene uitvoerige beschrijving van dit werktuig in ARMENGAUD, *Publica industrielle* VI, p. 385, onder den naam van *Indicateur totalisateur*.

TWEEDE AFDEELING.

HET VERANDEREN EN OVERBRENGEN DER BEWEGINGEN.

§ 189. De krachten die wij in de vorige afdeeling behandeld ebben, geven aan hare aangrijpingspunten, òf voortgaande, f heen- en weêrgaande bewegingen, en wel in regtlijnige of cir-kelvormige rigting; gewoonlijk moet aan den last of aan het ar-beidende gedeelte van het werktuig, ook eene dezer vier soorten van bewegingen medegedeeld worden; doch daar niet altijd de soort van beweging der kracht dezelfde is als die van den last of van het arbeidend gedeelte, zoo moet men middelen hebben om eene gegeven soort der hieropgenoemde bewegingen, in eene der andere over te brengen. Daarenboven bestaat er voor elke arbeidende kracht eene bepaalde snelheid, waarbij zij den meesten arbeid voortbrengt; die snelheid kan zeer veel verschillen van die waarmede men verlangt den last te bewegen of het arbeidende deel te doen voortgaan; men moet dus ook nog middel bezitten om eene bepaalde snelheid met eene andere te verbinden.

De combinatiën die men voor het overbrengen van eene soort van beweging in eene andere, hetzij met dezelfde of met ver-schillende snelheid kan vormen, worden niet allen gebruikt; daarentegen heeft men voor sommige meer dan éene wijze van overbrenging bedacht, omdat een zamenstel, dat bijv. bij kleine krachten bruikbaar is, dit niet altijd is bij grootere, en omge-keerd. Bij sommige bewegingen is het meer de juistheid van de bepaalde rigting die men bovenal wenscht te behouden, bij an-dere daarentegen, verlangt men eene zeer groote regelmatigheid in de snelheid; voor elk van die gevallen wordt eene bijzondere inrigting vereischt. Zonder ons dus geheel aan de aangewezne

combinatiën te houden, zullen wij eenige der voornaamste inri tingen doen kennen, waardoor bewegingen in rigting en snelh gegeven, in andere kunnen overgebragt worden.

a.) VOORTGAANDE REGTLIJNIGE BEWEGING, OVERGEBRAGT TOT EENE ANDERE DERGELIJKE BEWEGING, MET DEZELFDE OF ONGELIJKE SNELHEID.

§ 190. Eene voortgaande regtlijnige beweging, wordt in ee dergelijke voortgaande regtlijnige beweging overgebragt, door mid del van een touw over een katrol geslagen; hierdoor kan men d beweging in elke gegeven rigting overbrengen, mits zij met d eerste in eenzelfde vlak gelegen zij; de snelheid van den last i hier dezelfde als van de kracht.

Zijn beide rigtingen niet in eenzelfde vlak gelegen, dan ka men het oogmerk bereiken door twee katrollen, zooals in de Figuu 31 is aangewezen.

Moeten de snelheden verschillen, dan kan men door het ge bruiken van een takel, de eene snelheid tot een bepaald veelvou van de andere maken; terwijl men ook elke willekeurig ge geven betrekking van snelheid kan verkrijgen, door twee cilin ders, of schijven van ongelijke middellijn, met een touw zonde eind te verbinden en aan den eenen cilinder de kracht door ee daarop gewikkeld touw te doen werken, terwijl de last werkt aa een dergelijk touw, om den tweeden cilinder gewonden.

Het zal geene zwarigheid hebben de betrekking van den arbei der kracht tot dien van den last bij deze toestellen te vinden In § 233 der Dynamica is een voorbeeld voor het gebruik va katrollen berekend, waaruit tevens blijkt, hoe weinig het verlies doo wrijving op de katrolspil bedraagt. Wij zullen later terugkome op het verlies bij schijven door een touw zonder eind verbonden Overigens kunnen de spanningen der touwen en de drukkinge op de spillen, door het geleerde in de Dynamica berekend wor den, indien namelijk de bewegingen versnellend of vertragen zijn; terwijl bij eenparige beweging, de drukkingen en spanninge dezelfde zijn als bij het evenwigt. In beide gevallen zal men u de spanningen en drukkingen de afmetingen der deelen die de werkingen ondergaan, kunnen afleiden.

§ 191. In plaats van touwen en katrollen, gebruikt men ook vel kettingen over cilinders of trommels gespannen; zullen hierbij geen te groote wrijvingen en zelfs schokken ontstaan, dan dienen de middellijnen der trommels, in vergelijking der schakels of schalmen, waaruit de kettingen bestaan, vrij groot te wezen. Bij het loswikkelen van een' ketting, wiens schakels groot zijn in vergelijking van de middellijn des cilinders, is de rigting van het losgewikkeld gedeelte nu eens rakend aan den omtrek des cilinders, en dan eens, wegens het uitsteken van de nog niet volkomen afgewikkelde schalmen, van dien omtrek verwijderd. Zoodra nu de gedeeltelijk losgewikkelde en uitstekende schalm vrij komt, valt het afgewikkeld gedeelte wederom in de eerste rigting en veroorzaakt daardoor botsingen, die op den duur nadeelig zijn en nutteloos arbeid verslinden. Men heeft daarom aan de kettingen zoodanige inrigting trachten te geven, dat het klemmen der schalmen zooveel mogelijk ontweken wordt. De Figuren 32 en 33 stellen de voornaamste wijzigingen voor.

§ 192. Men gebruikt ook wel lederen riemen, om trommels gewonden, tot het overbrengen van bewegingen; door ze breed en niet dik te nemen, kan men zeer sterke spanningen uitoefenen, zonder wegens de dikte eenen aanmerkelijken tegenstand der stijfheid te ondervinden, zooals het geval bij dikke touwen zou zijn.

De ondervinding heeft bij riemen zonder eind geleerd, dat de trommels waarover zij loopen, niet volkomen cilindervormig moeten wezen, maar in het midden eene eenigzins grootere middellijn dan aan de einden dienen te hebben; zoodat de doorsnede van het oppervlak der trommel met een vlak door de as gaande, eene eenigzins gebogen lijn voorstelt; met hare holle zijde naar de as gekeerd, waarvan gewoonlijk de pijl één tiende van de koorde bedraagt (Fig. 57). Bij die inrigting blijven de riemen op de trommels, terwijl zij anders ligt zijdelings afwijken en de trommels verlaten.

§ 193. Het bewegen van lasten op rijtuigen, door menschen of paarden, geeft ook een voorbeeld van het overbrengen der regtlijnige beweging.

In sommige spinwerktuigen beweegt eene soort van wagen langs een ijzeren spoor, of wel loopen de raderen in eene ijzeren of koperen groef, waarin zij juist passen; hierdoor blijft de beweging volkomen in de verlangde rigting.

b.) VOORTGAANDE REGTLIJNIGE BEWEGING, OVERGEBRAGT IN EENE VOORTGAANDE RONDDRAAIJENDE.

§ 194. Eene voortgaande regtlijnige beweging wordt in eene voortgaande ronddraaijende en omgekeerd overgebragt, door een windas of kaapstander. Door het touw waaraan de last hangt, vooraf over een of meer katrollen te brengen, zal men de ronddraaijende beweging van het rad in elke bepaalde rigting kunnen overbrengen; terwijl de betrekkelijke snelheid bepaald wordt door de betrekking van de middellijn van het rad des windas tot die van zijne spil. Doet men de kracht werken op het touw waaraan anders de last werkt, en den last op de plaats der kracht, dan brengt de regtlijnige beweging der kracht eene ronddraaijende op den last voort. Uit de formulen in de Statica ontwikkeld, zal men het verlies, door de wrijving op de spillen of tappen voortgebragt, berekenen kunnen.

§ 195. Het grijpen van een getande staaf in een getand rad (Fig. 34) doet mede eene regtlijnige beweging in eene ronddraaijende overgaan, of omgekeerd.

Bij de zoogenoemde bokken, bij de Artillerie in gebruik, alsmede bij de aardwinden of dommekrachten, brengt de ronddraaijende kracht eene regtlijnige beweging voort.

Tot hetzelfde oogmerk kan de schroef dienen, wanneer zij in eene vaste moer beweegt; of ook wanneer de moer alleen regtlijnig kan voortgaan, en de schroef in twee ringen op de plaats blijft ronddraaijen. Men kan, omgekeerd, de schroef niet gebruiken om eene regtlijnige beweging in eene ronddraaijende over te brengen: In de Statica is namelijk aangewezen dat de last op de schroef in evenwigt kan blijven, zonder dat het noodig zij door een koppel of door eene kracht loodregt op de as der schroef, deze tegen te houden, mits dat de helling van de schroefdraden kleiner zij dan de wrijvingshoek, behoorende bij het glijden van de moer over de schroef. Eene kracht langs de as der schroef, brengt in dit geval slechts eene evenwijdige drukking op de moer over, zonder eenige ronddraaijing te veroorzaken. Ofschoon dan in het algemeen, door den last met de kracht te verwisselen, de oorspronkelijke kracht als last mag beschouwd worden, die door middel van den oorspronkelijken last, wanneer hij slechts groot genoeg genomen wordt, kan bewogen worden, zoo is dit bij de

schroef niet altijd het geval. Men moet de oorzaak hiervan zoeken in de drukkingen die op de moer ontstaan, wanneer men de schroef onder de werking van een' last beweegt. De moer ondergaat dan niet alleen eene drukking, evenwijdig aan de as, maar ook de werking van een koppel dat haar eene draaijende beweging tracht te geven, die door de bevestiging van de moer wordt tegengehouden; werkt dus, omgekeerd, op de moer alleen eene kracht evenwijdig aan de as, en geen koppel, dan ontstaat er geene ronddraaijende beweging, tenzij de rigting dier kracht en opzigte der normalen van het schroefvlak zoodanig zij, dat er eene uitglijding ontstaat.

De schroef wordt weinig gebruikt om eigenlijke lasten te heffen, wegens de geringe hoogte waarop dit, zonder zeer lange schroeven, geschieden kan. Evenwel, de weinige ruimte die zij inneemt en de groote betrekking tusschen den last en de kracht, die men door behoorlijk geregelde schroefgangen verkrijgen kan, doet haar gebruiken bij het ligten van zeer groote lasten op geringe hoogten.

Daarenboven dient de schroef tot het voortbrengen van zeer kleine en naauwkeurig geregelde bewegingen, zooals bij de micrometerschroeven aan de Geodesische werktuigen. Bij voortdurend bewegende werktuigen wordt de schroef echter, zoodra de tegenstand eenigzins aanzienlijk is, weinig gebruikt, wegens het aanmerkelijk verlies door de wrijving veroorzaakt. Door de formule in § 339 der Statica ontwikkeld, zal men dit verlies in elk gegeven geval kunnen berekenen: stelt men bijv. van eene schroef, de buitenste middellijn 2,2, de binnenste 2, de hoogte der schroefgangen 0,1, de wrijvingscoëfficient of tang $\mu = 0{,}2$ en den afstand waarop de kracht uit het middelpunt der schroef werkt 10, dan vindt men, door de eindformule van § 339 der Statica, de betrekking van de kracht tot den last als 1 : 0,02428, terwijl zonder wrijving, die betrekking zou zijn als 1 : 0,001516; er gaat dan bijna 0,6 van den arbeid, op den last besteed, verloren.

c.) VOORTGAANDE RONDDRAAIJENDE BEWEGING, IN DEZELFDE SOORT VAN BEWEGING OVERGEBRAGT.

§ 196. Het overbrengen van eene voortgaande ronddraaijende beweging in eene zelfde beweging, met dezelfde of met veranderde

snelheid, geschiedt door raderen en rondsels, die door behoorlijke regeling hunner middellijnen, zeer gemakkelijk, alle verlangde betrekkelijke snelheden geven.

Door twee raderen kan men de beweging van eene as tot eene andere overbrengen, die met de eerste in eenzelfde vlak is gelegen; terwijl men met vier raderen de ronddraaijende beweging van eene as aan eene andere, niet in hetzelfde vlak gelegen, kan mededeelen. Men heeft daartoe slechts eene as te kiezen, die de beide assen snijdt; alsdan kan de eerste as de hulp-as en deze de tweede as in beweging brengen, door nabij de snijpunten getande raderen aan te brengen, die elkander vatten.

§ 197. Bijna in alle werktuigen van eenig belang worden getande raderen gebruikt; wij zullen daarom hunne inrigting en het verlies aan arbeid, dat door de wrijving daarbij plaats heeft, meer opzettelijk nagaan.

In de Statica (§ 347 en volgende) zijn de regels aangewezen ter bepaling van de gedaante der tanden, om eene regelmatige werking te verkrijgen.

De dikte en breedte der tanden regelt zich blijkbaar naar de drukking die zij ondergaan. Men kan de tanden beschouwen als staven aan het eene einde bevestigd, en aan het andere einde door eene kracht gedrukt, die de staaf bij de bevestiging in het rad tracht af te breken. Zoodra dan de drukking bekend is, zal de berekening der breedte of dikte geene zwarigheid hebben. Hoe meer tanden in eenen zelfden omtrek geplaatst worden, des te korter kunnen zij vallen en des te geringer is de invloed der wrijving, daarenboven verkleint dit den hefboomsarm der kracht [illegible] eind van den tand werkt; maar tevens vermindert de [illegible]den, en alzoo ook hun wederstandsvermogen, en [illegible]rkante reden der dikte, omdat de wederstand, al [illegible]elijk zijnde, met het vierkant der dikte toeneemt. [illegible] de breedte der tanden te vergrooten, kan men zonder [illegible]e te veranderen, het wederstandsvermogen doen toenemen. [illegible] bij het gebruik nog al sterk uitslijten, zal [illegible] afmetingen zoodanig te regelen, dat wanneer [illegible]e helft zijn afgesleten, hun wederstandsver[illegible]noeg blijft.

[illegible]en volgende der Statica zijn de formulen ont[illegible]or het evenwigt tusschen twee getande raderen

bepaald wordt, wanneer men de wrijving in rekening brengt; zoodra men dus de betrekking voor het evenwigt tusschen de krachten op de raderen kent, dan kan men het overwigt, dat de bewegende kracht moet hebben om de wrijving te overwinnen, nagaan; het product van dit overwigt met zijnen weg, is het verlies aan arbeid gedurende den tijd waarin die weg wordt afgelegd. Het verlies op de tanden is in de Statica voor den ongunstigsten stand berekend, namelijk voor het oogenblik alwaar de tanden op elkander beginnen te vatten, of wel elkander verlaten; voor iederen tusschenstand is dit verlies minder, en zelfs gelijk nul, als het raakpunt der tanden in de lijn der middelpunten van de steekcirkels valt. Om alzoo het verlies aan arbeid te berekenen, gedurende dat twee op elkander werkende tanden hunne geheele omwenteling volbragt hebben, kan men naauwkeurig genoeg een gemiddeld standvastig verlies aannemen, gelijk aan de helft van dat in den ongunstigsten stand, in § 357 der Statica berekend. Gesteld alzoo het rondsel $O'A$ (Fig. 35) werkt op het rad OA, doordien op den omtrek $O'K$ eene kracht K werkt, om den last L aan den omtrek OL op te heffen, dan is, in overeenstemming met § 356 der Statica, $AO = \mathrm{R}$, $OL = r$, $O'A = r'$, $O'K = \mathrm{R}'$, en het gemiddeld verlies V door de wrijving op de tanden (Statica § 359):

$$\mathrm{V} = \frac{m(\mathrm{R}+r')\,r}{2\mathrm{R}\mathrm{T}\mathrm{R}'}\,\mathrm{L},$$

waarin T het getal tanden op den omtrek van AO voorstelt, en $m = \pi$ tang μ als de tanden elkander zoowel vóór als nà de lijn OO' der middelpunten aanraken; terwijl $m = 2\pi$ tang μ is, als dit slechts aan de ééne zijde geschiedt. Zij nu d de *deeling* of de afstand midden op midden der tanden op de beide steekcirkels, dan zal bij het afloopen van één tand, de omtrek van het rad R' een' weg $d\,\frac{\mathrm{R}'}{r'}$ en die van het rondsel r een' weg $d\,\frac{r}{\mathrm{R}}$ hebben afgelegd; bij het verrigten van den arbeid $d\,\frac{r}{\mathrm{R}}\,\mathrm{L}$ op den last, gaat er alzoo bij K aan arbeid verloren $d\,\frac{\mathrm{R}'}{r'}\,\mathrm{V}$, alzoo, volgens de voorgaande formule, een gedeelte van den voortgebragten arbeid, aangewezen door:

$$\frac{RR'V}{rr'L} = m\,\frac{R+r'}{2r'T}.$$

Waarvoor men schrijven kan:

$$\frac{RR'V}{rr'L} = \frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right),$$

als t' het aantal tanden op het rondsel r' voorstelt, daar men altijd heeft $r'T = Rt'$.

Verlangt men op de spil O eenen arbeid M, dan moet op de spil O' aan den omtrek R', wegens de wrijving der tanden, geleverd worden eenen arbeid:

$$M\left\{1 + \frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right)\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a).$$

§ 199. Het verlies door de wrijving op de spillen is, volgens § 361 der Statica, in het algemeen:

$$W = \left\{\frac{\rho r'(R \pm r)}{R'R^2} + \frac{\rho' r(R' \pm r')}{RR'^2}\right\} L. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

waarin ρ en ρ' de stralen der wrijvingscirkels van de spillen voorstellen; de bovenste teekens gelden in het ongunstigste geval, als de drukkingen op elk zamenstel van rad en rondsel ter weêrszijde van de spil werken, en de onderste teekens, als zij aan dezelfde zijde werken. In de Figuur zou voor O' het bovenste en voor O het onderste teeken moeten gebruikt worden. In elk ander geval, waarin L en K niet evenwijdig en loodregt op OO' staan, zal het verlies tusschen de grenzen uit die dubbele teekens voortkomende, blijven. Hierbij moet men de verschillen $R - r$ enz. altijd positief nemen, ook voor het geval van $R < r$.

Doorloopt nu wederom de last een' weg $d\frac{r}{R}$ en de kracht $d\frac{R'}{r'}$, dan is het verlies aan arbeid een gedeelte van den voortgebragten arbeid op de spil O, aangewezen door:

$$\frac{RR'W}{rr'L} = \rho\,\frac{R \pm r}{rR} + \rho'\,\frac{R' \pm r'}{r'R'}.$$

Neemt men het verlies aan arbeid door de wrijving der spillen en tanden te zamen, dan heeft men voor de betrekking van dat verlies tot den arbeid op de spil O:

$$\frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right) + \rho\,\frac{R \pm r}{rR} + \rho'\,\frac{R' \pm r'}{r'R'}.$$

alzoo een' arbeid M op de spil O te leveren, is er op de
' een arbeid A noodig, aangewezen door de formule:

$$A = \left\{1 + \frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right) + \rho\frac{R \pm r}{rR} + \rho'\frac{R' \pm r'}{r'R'}\right\} M \quad . \quad . \quad (c).$$

r $R = R' = 2r = 2r'$, $\rho = \rho' = 0{,}05\,r$, $T = 24$, $t' = 12$,
$= 0{,}15$ en alzoo $m = 2\pi \operatorname{tang} \mu = 0{,}9425$, vindt men uit
$= 1{,}2089\,M$ voor het ongunstigste geval; alsdan gaat er na-
g één vijfde van den arbeid verloren. Voor het gunstigste
bij de spillen, dat is: het onderste teeken gebruikende,
$A = 1{,}1089\,M$, dus nagenoeg de helft van het voorgaande
s; en zoo men mede de tanden op de gunstigste wijs inrigt,
t het verlies juist de helft.

200. Bij kamraderen (Fig. 36) kan men dezelfde formule ge-
en, mits in den term, die het verlies door de wrijving der
n aanwijst, de grootheden $\frac{1}{t'}$ vervangende door $\frac{\cos\delta'}{t'}$, of wel
r', door $R\cos\delta'$ en $r'\cos\delta$ (Statica § 364), zijnde δ en δ' de
n OCA en $O'CA$.

201. In plaats van eene enkele kracht K op het eerste rad,
een koppel de draaijende beweging voortbrengen: dit is bijv.
geval bij de windmolens, als men eene gelijke werking van
wind op de vier wieken aanneemt; hetzelfde heeft plaats bij
rbines (§ 85). Men zal, naar aanleiding der vroeger ontwik-
gronden, vinden dat het verlies aan arbeid voor een koppel
t rad R', in plaats van eene kracht, wordt:

$$\left\{\frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right) + \rho\frac{R \pm r}{Rr} + \rho' \cdot \frac{1}{r'}\right\} M;$$

en overeenkomt met in de formule (c) (§ 199) R' oneindig
ellen. Om derhalve een' arbeid M op de spil O te leveren,
men, in geval van een koppel op het rad R', een' arbeid A
spil O' noodig, aangewezen door de vergelijking:

$$A = \left\{1 + \frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right) + \rho\frac{R \pm r}{Rr} + \frac{\rho'}{r'}\right\} M \quad . \quad . \quad (d).$$

t verlies bij een koppel zal dus minder zijn dan bij eene
e kracht, ingeval de drukkingen op de spil O' in het ongun-
e geval verkeeren, want altijd is:

$$\frac{1}{r'} < \frac{1}{R'} + \frac{1}{r'};$$

maar als de spil in het gunstigste geval verkeert van enkel het verschil der drukkingen op het rad en rondsel te moeten dragen, dan zal

$$\frac{1}{r'} > \text{of} < \frac{1}{R'} - \frac{1}{r'};$$

zijn, naarmate $R' <$ of $> 2r'$ is. Het verlies op de tanden blijft onveranderd.

§ 202. Wanneer twee assen te ver van elkander zijn, om gemakkelijk door raderen verbonden te worden, of ook wel, als men om andere redenen het gebruik van raderen wil ontwijken, kan men de beweging overbrengen door middel van riemen zonder eind; deze riemen omspannen dan schijven, aan elk der assen verbonden. In de Statica is aangewezen, hoe groot de spanning dient te zijn, om bij gegeven lasten en krachten het glijden der riemen over de schijven te verhinderen. Bij zware lasten moeten de riemen zeer sterk gespannen worden, hetwelk veel wrijving veroorzaakt en zoowel de assen als de riemen veel doet lijden; in zulke gevallen verkiest men liever getande raderen. Is daarentegen een der assen aan sterke botsingen of aan oogenblikkelijke vermeerdering van wederstand onderworpen, dan breken ligt de tanden; de riemen zonder eind zijn dan verkieslijker. Door de schijven of trommels waarover de riemen loopen, stevig met zacht leder te bekleeden, vermeerdert men de wrijving van den riem op de schijf, waardoor de spanning minder kan zijn.

§ 203. Men is verpligt de riemen van tijd tot tijd aan te halen, wegens de rekking die zij ondergaan; men ontwijkt dit door het aanbrengen van eene hulpschijf, die tegen den riem aandrukt, en hem door middel van een gewigt K (Fig. 37), de vereischte spanning geeft. Men heeft daarenboven hierdoor het voordeel, de verbinding der beide assen naar goedvinden te kunnen afbreken en herstellen; daartoe heeft men slechts de drukking van de hulpschijf te doen ophouden of weder te doen werken; dit geeft veel gemak, wanneer de beweging, zooals bij draaibanken, dikwijls, zonder veel omslag, moet afbreken en weder beginnen.

De schijven waarom de riemen loopen, verkrijgen eene betrekkelijke hoeksnelheid, in omgekeerde reden van hare middel-

jnen; het beeft dus geene zwarigheid die snelheden in elke egeven betrekking over te brengen. Op de spillen der draaianken beeft men meestal schijven van verschillende middellijn, m door dezelfde snelheid, waarmede het rad van de bank rondraait, meer of minder snelheid aan de spil mede te deelen.

§ 204. Om den invloed der wrijving bij het gebruik van riemen zonder eind, in plaats van getande raderen te beoordeelen, heeft men slechts de voorwaarde in te voeren, dat de resultante uit de krachten op elk der schijven, den wrijvingscirkel van de spil tot die schijf behoorende, moet aanraken. In het algemeen zal de invloed der wrijving van de spanning der riemen afhangen, of in het algemeen zich regelen naar de meer of mindere drukking op de spillen. In plaats echter van hier het algemeen geval eener willekeurige rigting der verschillende krachten ten opzigte van elkander te behandelen, zullen wij, evenals bij de raderen slechts de beide uiterste gevallen beschouwen, te weten: als de drukking op de spillen een maximum en een minimum is; men zal dan zeker zijn dat het werkelijke verlies altijd tusschen die beide uitersten besloten ligt.

Laten O en O' (Fig. 38) de middelpunten der spillen voorstellen $Oo = \rho$, $Oo' = \rho'$ de stralen harer wrijvingscirkels, $OA = R$ den straal van de schijf waarom de riem zonder eind $AA'E'E$ is geslagen, $OB = r$ den straal waaraan de last L werkt, $OB' = R'$ en $O'A' = r'$; zij verder S en S' de spanning der riemen in EE' en AA', dan zal het verschil dier spanningen groot genoeg moeten zijn om op de spil O den last L in evenwigt te houden, en op de spil O' de kracht K. Dit verschil kan echter eene bepaalde grens niet overschrijden, zonder dat de riem over de schijven glijdt. Volgens § 262 der Statica neemt dit verschil toe met de grootte van den boog, door den riem op den omtrek der schijven bespannen; het verschil kan dus bij de grootste der twee schijven meer bedragen dan bij de kleinste. Wanneer evenwel de schijven niet al te digt bij elkander zijn en ook niet te veel in middellijn verschillen, kan men den riem, zooals die in de Figuur is voorgesteld, beschouwen als op beide schijven nagenoeg eenen halven omtrek te beslaan. In die onderstelling zal er, volgens § 262 der Statica, dan eerst uitglijding ontstaan, wanneer $S - S' > (e^{\pi f} - 1)S'$ zal wezen; zijnde e de basis van het Neperiaansche logarithmenstelsel en f de wrijvingscoëfficient over den

omtrek der schijven. In het gebruik zal het verschil S — S' merkelijk beneden de aangewezen grens moeten blijven, opdat niet, bij eene kleine vermindering van kracht of last, in werktuigen nooit geheel te ontwijken, de regelmatigheid der beweging verbroken worde. Stelt men $f = 0{,}333$, dan is, volgens § 262 der Statica, $3S' = S$ nagenoeg.

§ 205. Nemen wij nu, dat de last L in B in evenwijdige rigting met de spanningen S en S' werkt, zoodat de spil eene drukking $S + S' + L$ ondergaat; werkt de last in C, dan wordt die drukking $S + S' - L$. Hetzelfde heeft plaats bij de spil O', alwaar de twee uiterste gevallen eveneens geven $S+S'+K$ en $S+S'-K$. Stellende dan $S = nS'$, dan heeft men in het onvoordeeligste geval voor het evenwigt op O:

$$(R-\rho)S = (r+\rho)L + (R+\rho)S' = (r+\rho)L + \frac{1}{n}(R+\rho)S;$$

waaruit
$$S = \frac{n(r+\rho)L}{(n-1)R-(n+1)\rho}.$$

Voor het evenwigt op de spil O' heeft men eveneens:

$$(r'+\rho')S = (R'-\rho')K + (r'-\rho')S' = (R'-\rho')K + \frac{1}{n}(r'-\rho')S,$$

waaruit:

$$S = \frac{n(R'-\rho')K}{(n-1)r' + (n+1)\rho'}.$$

Uit die beide waarden van S volgt dan:

$$K = \frac{(r+\rho)\{(n-1)r' + (n+1)\rho'\}}{(R'-\rho')\{(n-1)R-(n+1)\rho\}}L.$$

Het verlies door de wrijving is alzoo:

$$V = K - \frac{rr'}{RR'}L = \left\{\frac{(r+\rho)\{(n-1)r' + (n+1)\rho'\}}{(R'-\rho')\{(n-1)R-(n+1)\rho\}} - \frac{rr'}{RR'}\right\}L.$$

Verwaarloozende, evenals bij de getande raderen, de producten $\rho\rho'$ ten opzigte der eerste magten dier grootheden, alsmede die grootheden zelve in vergelijking van R, r enz., dan vindt men bij benadering:

$$V = \left\{\rho r'\frac{(n-1)R + (n+1)r}{(n-1)R^2R'} + \rho' r\frac{(n+1)R' + (n-1)r'}{(n-1)RR'^2}\right\}L. \quad . \quad (1).$$

Doorloopt de last L een' weg d, dan is die van K, $d\frac{RR'}{rr'}$; bij een' arbeid dL van den last gaat er alzoo aan wrijving verloren een' arbeid $d\frac{RR'}{rr'}V$, alzoo een gedeelte van $dL = M$, aangewezen door:

$$\frac{RR'}{rr'}\frac{V}{L} = \rho\frac{(n-1)R+(n+1)r}{(n-1)rR} + \rho'\frac{(n+1)R'+(n-1)r'}{(n-1)R'r'}.$$

De arbeid M op de spil O vereischt alzoo een' arbeid A op O', aangewezen door de vergelijking:

$$A = \left\{1+\rho\left(\frac{1}{r}+\frac{n+1}{(n-1)R}\right)+\rho'\left(\frac{1}{R'}+\frac{n+1}{(n-1)r'}\right)\right\}M. \quad . \quad (2).$$

§ 206. Neemt men in de tweede plaats het voordeeligste geval, waarin de last in C en de kracht in C' werkt, dan kan de resultante $S+S'$ tusschen C en O, of wel tusschen E en C vallen; in het eerste geval hebben wij voor het evenwigt op de spil O:

$$(R-\rho)S-(r-\rho)L = (R+\rho)S' = \frac{1}{n}(R+\rho)S,$$

en in het tweede geval:

$$(R+\rho)S-(r+\rho)L = (R-\rho)S' = \frac{1}{n}(R-\rho)S;$$

derhalve uit die beide vergelijkingen:

$$S = \frac{n(r\mp\rho)L}{(n-1)R\mp(n+1)\rho}.$$

Op de spil O' valt de resultante $S+S'$ altijd tusschen O' en C', zoolang $O'C' > O'E'$ of $R' > r'$ is, doch daar zeer wel $R' < r'$ kan wezen, hebben wij dan ook in het algemeen uit het evenwigt op die as:

$$S = \frac{n(R'\pm\rho')K}{(n-1)r'\pm(n+1)\rho'};$$

zoodat uit die twee vergelijkingen volgt:

$$K = \frac{(r\mp\rho)\{(n-1)r'\pm(n+1)\rho'\}}{(R'\pm\rho')\{(n-1)R\mp(n+1)\rho\}}L. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Het teeken van ρ is onafhankelijk van dat van ρ'. Voor het verlies V der wrijving hebben wij, bij benadering, op dezelfde wijs als in de vorige §:

$$V = \left\{ \pm \rho r' \frac{(n+1)r-(n-1)R}{(n-1)R^2R'} \mp \rho' r \frac{(n-1)r'-(n+1)R'}{(n-1)RR'^2} \right\} L. \quad (4)$$

Blijkbaar kan het verlies V nooit negatief zijn; de dubbele teekens voor ρ en ρ' moeten derhalve zoo gekozen worden, dat elk hunner coëfficienten eene positieve waarde geeft; men kan alzoo, die voorwaarde in acht nemende, die dubbele teekens weglaten. Uit de vergelijking van (4) met (1) der vorige § blijkt onmiddellijk het voordeel, om vooral bij kleine verschillen der stralen op dezelfde spil, den last in tegenovergestelde rigting van de kracht te doen werken. Uit (4) heeft men voor een arbeid M op de spil O, een arbeid A op O' aangewezen, door de vergelijking:

$$A = \left\{ 1 + \rho\left(\frac{n+1}{(n-1)R} - \frac{1}{r}\right) + \rho'\left(\frac{1}{R'} - \frac{n+1}{(n-1)r'}\right) \right\} M \quad (5).$$

Stelt men in (2) der vorige § en in (5), $n=3$, hetgeen, blijkens § 204, het voordeeligst is, dan hebben wij uit (2) voor den ongunstigsten stand van last en kracht:

$$A' = \left\{ 1 + \rho\left(\frac{1}{r} + \frac{2}{R}\right) + \rho'\left(\frac{1}{R'} - \frac{2}{r'}\right) \right\} M,$$

en uit (5) $$A'' = \left\{ 1 + \rho\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{r}\right) + \rho'\left(\frac{1}{R'} - \frac{2}{r'}\right) \right\} M;$$

waartusschen nu altijd het verlies beperkt blijft.

In § 199 hebben wij voor het verlies aan arbeid bij de getande raderen gevonden:

$$A = \left\{ 1 + \frac{m}{2}\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t'}\right) + \rho\frac{R+r}{Rr} + \rho'\frac{R'+r'}{R'r'} \right\} M;$$

waarin, zoo men de bovenste teekens gebruikt, de termen met ρ en ρ' aangedaan, minder bedragen dan de overeenkomstigen in A'; doch bij die termen moet dan nog de waarde van den term met m aangedaan, die van de wrijving der tanden afhangt, gevoegd worden, terwijl ook eigenlijk bij de verliezen, voor de riemen berekend, nog het verlies wegens de stramheid of onbuigzaamheid der riemen moet gevoegd worden. Het zal dus van de bijzondere

omstandigheden afhangen, of er bij de riemen meer of minder verlies ontstaat dan bij getande raderen.

§ 207. De stijfheid der riemen zal in het algemeen weinig verlies aan arbeid veroorzaken, althans wanneer de middellijn der schijven, waarover zij loopen, niet zeer klein is; indien alzoo het verschil in snelheid der beide spillen groot is, en dus ook een der schijven eene kleine middellijn heeft, mag de stijfheid niet verwaarloosd worden. Volgens Peclet (1) zou, bij eene snelheid van 1000 à 1500 omwentelingen in de minuut, soms een vierde van den arbeid door de stijfheid verloren gaan.

§ 208. De riemen moeten sterk genoeg zijn om de spanningen die daarop werken te wederstaan; zonder veel afwijking kan men voor de grootste der twee spanningen nemen:

$$S = \frac{nrL}{(n-1)R}.$$

Bij niet zeer dikke riemen kan men het draagvermogen evenredig stellen aan het product uit hunne breedte en dikte. Is de snelheid gegeven, waarmede een der spillen draait, dan is ook die van den riem bekend; men kan dan de spanning S voorstellen door het quotient van den arbeid op den riem per seconde, door zijne snelheid; alzoo moet het draagvermogen van den riem evenredig zijn aan dit quotient; of wel bij gelijken arbeid, omgekeerd, evenredig met die snelheid.

Volgens eene opgave van den Ingenieur Laborde (2) zou men voor één paardenkracht, bij eene snelheid van 162,5 el in de minuut, een' riem van 0,081 el breedte noodig hebben. De arbeid van één paardenkracht is 4500 in de minuut, alzoo is de spanning op den riem:

$$\frac{n}{n-1} \cdot \frac{4500}{162,5} = 27,70 \frac{n}{n-1} \text{ pond}$$

of $3,42 \frac{n}{n-1}$ pond per duim breedte.

Volgens Morin is het draagvermogen van riemen 25 pond op den vierkanten duim der doorsnede; volgens anderen kan men het op 30 pond stellen.

(1) *Traité de la chaleur*. 2e *Édition*, p. 227.
(2) Armengaud, *Publication industrielle*, III. p. 8.

met het moment kK van de kracht K evenwigt maken. De hoek van het vlak der koppels aD met laatstgenoemd cirkelvlak is BIG, en stelt men dien gelijk β, dan is uit de Figuur: $\sin\beta = \cos\varphi \sin\alpha$, alzoo $a\mathrm{D}\cos\beta = k\mathrm{K}$.

Op dezelfde wijs het koppel aD ontbindende, loodregt op en in het vlak door de spil CF loodregt op de tweede as beschreven, dan heeft men eveneens, als lL het moment van den last voorstelt en men hoek $IBF = \gamma$ stelt, $l\mathrm{L} = a\mathrm{D}\cos\gamma$ en $\sin\gamma = \sin\varphi\sin\alpha$ en daaruit: $\cos\alpha = \cos\gamma\sqrt{(1-\cos^2\varphi\sin^2\alpha)}\sqrt{(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi\sec^2\alpha)}$.

De grootste waarde der drukking D aan het eind der spillen is alzoo voor $\sin\varphi = 0$:

$$\mathrm{D} = \frac{l\mathrm{L}}{a},$$

en de kleinste bij $\varphi = 90°$:

$$\mathrm{D} = \frac{l\mathrm{L}}{a}\cos\alpha.$$

Rekent men geene wrijving, dan is voor het evenwigt:

$$k\mathrm{K}\cos\gamma = l\mathrm{L}\cos\beta,$$

en daaruit $(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi\cos^2\alpha)\,\mathrm{L}l = \mathrm{K}k\cos\alpha$.

Het is overigens blijkbaar dat men nimmer de assen KC en DC loodregt op elkander kan stellen, want dan wordt de drukking D gelijk nul, en is er geene beweging mogelijk; hetgeen ook blijkt uit de betrekking der hoeksnelheden; zij wordt voor $\alpha = 90°$ voor alle waarden van φ, oneindig.

§ 212. De schroef zonder einde, in § 367 der Statica beschreven, dient mede om eene ronddraaijende beweging over te brengen in een tweede vlak, loodregt op dat der eerste beweging. Voor elke geheele omdraaijing der schroef wordt slechts één tand van het rad verzet, derhalve is de beweging van het rad zeer langzaam in vergelijking van die der schroef. Wanneer dus zeer zware lasten te bewegen zijn, of als men eene zeer snelle beweging met eene zeer langzame verbinden wil, zooals bijv. de voortgaande beweging van eene boor en hare ronddraaijende beweging, dan kan de schroef zonder einde met vrucht gebruikt worden.

Evenmin als de gewone schroef, kan de schroef zonder eind omgekeerd gebruikt worden, om namelijk door het rad de schroef te bewegen: want de drukking der tanden tegen de schroef vormt meest een' hoek met de normaal van het aanrakingspunt, kleiner dan de wrijvingshoek; de tand kan dan niet langs den schroefgang glijden. Alleen bij schroeven met zeer schuine gangen is die omgekeerde beweging mogelijk.

d.) VOORTGAANDE RONDDRAAIJENDE BEWEGING, IN HEEN- EN WEDERGAANDE REGTLIJNIGE OVERGEBRAGT.

§ 213. Deze overbrenging of afwisseling van beweging kan door zeer veel verschillende toestellen verkregen worden; wij zullen alleen de meest gebruikelijke doen kennen.

Eene ronddraaijende as O (Fig. 43), met zoogenaamde *vuisten* FE voorzien, kan stampers, die tusschen rollen of schuiven NM bevat zijn, op- en neêrbewegen, zooals in § 236 der Dynamica is aangewezen. Het verlies aan arbeid bij deze inrigting door de wrijvingen en botsingen van de vuist tegen den stamper, kan uit de formulen van § 236 der Dynamica berekend worden.

§ 214. De gedaante van het gedeelte $FD'DE$ der vuist, wordt gemeenlijk bepaald door de voorwaarde, dat de gemeenschappelijke normaal DB, gedurende de beweging, op eenen standvastigen afstand OB van het middelpunt O der as blijve, en dat de snelheid der nok G gelijk zij aan die van den omtrek des steekcirkels BEA.

Dien ten gevolge zullen dan in de eerste plaats de achtervolgende normalen DB, $D'B'$ enz. der kromme $D'DE$ den steekcirkel $B'BA$ moeten aanraken, en ten tweede, het verschil van DB en $D'B'$ gelijk zijn aan den boog BB'; opdat, wanneer B' in B is gekomen, de lijn GD eene verhooging gelijk aan den boog BB' bereikt hebbe. Aan beide deze vereischten wordt voldaan indien de cirkel ABB' de ontwondene van de kromme $DD'E$ is; door dus ergens in K eenen buigbaren draad KF vast te maken, regt uit te spannen en vervolgens langs den cirkel $KB'B$ te winden, beschrijft het uiteinde F de verlangde kromme $FD'DE$.

Als het bevestigingspunt K van den draad met den steekcirkel in B is gekomen, dan is KF verticaal en de stamper valt neder; daarentegen begint de nok geligt te worden, als het punt

E in B is; derhalve is $KBE = KF$ de hoogte waarop de stamper geligt wordt. Bij F moet de vuist eigenlijk volgens FK afgesneden zijn, opdat de nok vrij langs de vuist kunne nedervallen; de nok moet bij D regthoekig afgewerkt zijn.

Dewijl het enkele punt D der nok over den boog FDE glijdt, heeft er bij de beweging gewone slepende wrijving plaats, zoals wij ook in de Dynamica § 236 hebben aangenomen. De hoek bij D slijt spoedig af, diensvolgens wordt die hoek meestal, evenals de vuist bij F, een weinig afgerond: doch alsdan verliest men iets in de naauwkeurigheid der beweging.

Meestal is er aan dezelfde as meer dan eene vuist; zij worden alsdan zoodanig verdeeld, dat de as gedurende eene omwenteling zoo na mogelijk evenveel te dragen hebbe. Zijn er bijv. drie stampers, dan neemt men den omtrek van den steekcirkel zoo groot als driemaal de hoogte van opligting bedraagt, en verdeelt de vuisten op 120° van elkander; alsdan vat juist een' stamper op het oogenblik dat de voorgaande afvalt.

§ 215. Wanneer men door middel eener vuist $d'b'A$ (Fig. 44) eene stang AL te ligten heeft, die onmiddellijk op de vuist $d'c'b'A$ rust, dan kan men, in plaats van de ontwindende van den cirkel, nog andere kromme lijnen $Ab'c'd'$ construeren, die aan de voorwaarden van § 214 voldoen, en waarbij zelfs de snelheid van de stang AL naar willekeur veranderlijk kan zijn, al blijft de spil O eenparig ronddraaijen.

Zij AD de verticale hoogte waarop men de stang wil heffen, terwijl de steekcirkel $AB'C'D'$ den boog AD' doorloopt, en laten verder de hoogten AB, AC enz. gegeven zijn, waarop men de stang verlangt, wanneer de punten B',C' enz. des steekcirkels in A zullen zijn; zoodat, wanneer de stang en de spil beiden eene eenparige beweging hebben, $AB = BC = CD$ en $A'B' = B'C = C'D'$ enz. moeten zijn. Trekkende de lijnen BO,CO enz., makende $B'b = Ab''$,$C'c = Ac''$ enz., en beschrijvende uit O met OB,OC enz. als stralen de bogen Bb,Cc' enz., dan zullen de snijpunten dezer bogen met de stralen Ob',Oc' enz. punten der verlangde kromme $Ab'c'd'$ enz. bepalen.

Bij het ronddraaijen der vuist, zal nu werkelijk het ondereinde der stang de punten B',C',D' bereiken, wanneer de punten B',C',D' in A komen; doch de stang zal geenszins in hare achtervolgende aanrakingen met de vuist, volgens de normaal der aanrakings-

punten gerigt wezen: terwijl dan de vuist, in § 214 beschreven, zoo men geene wrijving in aanmerking neemt, de nok verticaal opligt, zonder zijdelingsche drukking uit te oefenen, zal dit hier geenszins het geval wezen. Zij namelijk AR de normaal der kromme $Ab'c'd'$ in A, dan zal, zonder wrijving, de drukking van de vuist op de stang volgens AR gerigt wezen, of wel volgens de lijn AP, indien RAP den wrijvingshoek voorstelt en de stang op het punt moet wezen om met wrijving en al geligt te worden. De kracht volgens AR of AP door de as uitgeoefend, zal de stang niet alleen opwaarts, maar ook zijwaarts drijven. Om deze zijwaartsche afwijkingen voor te komen, moet de staaf in ten minste twee punten M en N gesteund worden.

Dit heeft nu wel altijd plaats, ook bij het gebruiken der vuist van § 214, doch alsdan is de drukking en alzoo de wrijving tegen de steunpunten zeer gering, hetgeen hier het geval niet is, ja zelfs kan hier de beweging in sommige gevallen, geheel onmogelijk worden. Zij, om dit te doen zien, in Fig. 45, AL de stang, in M en N zijdelings door ringen of anderzins gesteund, en AP de rigting der drukking op de stang door de vuist overgebragt, makende alzoo met de normaal AR in A eenen wrijvingshoek; de resultante van deze kracht met het gewigt van de stang AL, gaat door het punt A en moet in M en N drukkingen voortbrengen, die met de normaal in die punten wrijvingshoeken vormen, indien de staaf op het punt is van geligt te worden; laten FN en NG alsmede MF en MG wrijvingshoeken met de normalen in M en N vormen, dan zullen de drukkingen in N en M, volgens twee van die vier lijnen moeten vallen; en daar de beweging naar boven gaat, moeten de drukkingen in M volgens MF of MG, en in N volgens FN of GN gerigt wezen. De drukkingen in M en N kunnen niet evenwijdig volgens FN en MG of volgens GN en MF gerigt wezen, dewijl de resultante dier drukkingen tusschen de punten M en N doorgaat, en alzoo nooit door A gerigt kan wezen. De rigtingen GN en MG kunnen ook de rigting der drukkingen in M en N niet zijn, want de resultante dier drukkingen zou dan volgens AG moeten vallen, hetgeen onmogelijk is, daar die resultante aan de andere zijde van AL is gerigt. Er blijven dus alleen de rigtingen MF en FN over, en werkelijk, zoo het punt F binnen den hoek PAQ is gelegen, zal de resultante der drukkingen in A volgens AF

kunnen gaan en, ontbonden volgens MF en FN, drukkingen in M en N, volgens de vereischte rigtingen voortbrengen. Voor de mogelijkheid der beweging wordt dan vereischt, dat het punt F binnen den hoek PAQ gelegen zij, of dat de rigting der kracht AP voor het minst door het punt F ga; heeft dit geen plaats, dan is de ontbinding volgens MF en FN onmogelijk, en de drukkingen in M en N kunnen de wrijving aldaar niet overwinnen. De mogelijkheid der beweging zal dus afhangen van de rigting der normaal AR (Fig. 44), van de wrijvingshoeken in A, M en N, en van de plaatsing der steunpunten M en N zelve. Zijn deze ver van elkander en ver van A gelegen, dan zal de beweging eerder mogelijk wezen, en eene minder groote kracht volgens AP vereischen. Men zal zich overigens, naar aanleiding van het hier ontwikkelde, door constructie, in elk bijzonder geval, gemakkelijk overtuigen kunnen of de beweging al dan niet mogelijk is. Veeltijds echter zal het verlies aan wrijving zeer aanmerkelijk wezen, en deze inrigting dus alleen zijn aan te raden bij kleine lasten.

§ 216. Er zijn evenwel gevallen waarin de hier aangewezen nadeelen minder worden.

Kan bijv. de staaf AL (Fig. 46) verticaal boven het middelpunt O gesteld worden, dan wordt de hoek der normaal van de kromme ABF in het aanrakingspunt met de staaf, veel kleiner, en hierdoor wordt de zijdelingsche drukking minder en blijft althans de beweging meestal mogelijk.

Moet de beweging der staaf bij het nedergaan met dezelfde snelheid geschieden als bij het opwaarts bewegen, en alzoo zonder tusschenpoozingen voortgaan, dan moet men den steekcirkel zoodanig nemen, dat juist de halve omtrek AF doorloopen is als de staaf haren hoogsten stand heeft bereikt; men maakt verder de kromme $AB'F$ gelijk en gelijkvormig met ABF.

Hoewel deze inrigting over het algemeen minder verlies aan wrijving zal geven dan de toestel van § 215, zoo zal men evenwel, wanneer er aanzienlijke lasten of tegenstanden door de staaf moeten gedragen worden, beter doen de ontwindende van den cirkel te gebruiken, zooals in § 214 is beschreven, dewijl aldaar alle zijdelingsche werking vervalt, als het zwaartepunt van de last niet buiten de gemeenschappelijke normaal DB (Fig. 43) valt.

§ 217. Verbindt men eenen trekker AJ (Fig. 47) met het ee

ind aan eene pin I op eene ronddraaijende schijf OB, en het nder einde aan eene staaf AC, die tusschen rollen of schuiven heen- en weêr kan bewegen, dan zal de ronddraaijende schijf eene heen- en weêrgaande beweging voortbrengen; of omgekeerd zal de heen- en weêrgaande beweging van de staaf de voortdraaijende beweging der schijf doen ontstaan.

Dewijl hier al de deelen des werktuigs bij de beweging voortdurend aan elkander verbonden blijven, heeft er nergens eenige schok of botsing plaats; de eenparig ronddraaijende beweging der schijf doet de heen- en weêrgaande beweging, zonder stooten, van de eene rigting in de andere overgaan, en alzoo zonder eenig verlies aan arbeid, dan alleen door de wrijving.

Wanneer bij de ronddraaijende beweging der schijf, het punt I in I' of I'' is gekomen, dan heeft het punt A zijnen grootsten of kleinsten afstand tot het middelpunt O bereikt en keert in die punten terug. Was derhalve de beweging van het punt A bij het heen- en weêrgaan eenparig, dan zou die snelheid op het eind van elken gang plotseling moeten ophouden en in eene andere in tegengestelde rigting overgaan, hetgeen nooit zonder botsing kan plaats hebben. Doch juist wanneer de pin I in I' of I'' gekomen is, zal de beweging van A langzamerhand zijn afgenomen, en in A' en A'' gelijk nul wezen: want in I' of I'' doorloopt de pin I een boogje loodregt op AB, en doet alzoo gedurende dien tijd het punt A nagenoeg stilstaan. Het punt A verkrijgt zijne grootste snelheid, wanneer bij eene eenparige beweging van de schijf OB, de rigting van AI rakende is aan den cirkel $I'II''$, hebbende het alsdan de snelheid van dien cirkel.

§ 218. Wanneer de schijf met eene kracht die een standvastig moment ten opzigte der as bezit, wordt rondgedreven, dan is de uitgeoefende drukking op den trekker AI veranderlijk, omdat de loodlijn uit het middelpunt O, op de verschillende standen van den trekker nedergelaten, telkens van grootte verandert; de drukking in de rigting AC uitgeoefend, is dus mede veranderlijk, te meer daar de hoek van den trekker met de rigting der beweging AC, ook niet dezelfde blijft. Moet er dus in die rigting een standvastige wederstand overwonnen worden, dan zal de snelheid volgens AC niet eenparig, maar bij afwisseling versnellend en vertragend wezen.

De hier beschreven toestel wordt veelvuldig in werktuigen ge-

bruikt; het zal daarom niet overtollig wezen den invloed der wrijving daarbij te onderzoeken, om na te gaan of hierdoor veel of weinig arbeid verloren gaat, te meer daar men ten onregte eenig verlies aan de ongelijkheid der drukking volgens AC, naarmate van den stand der staaf IA, heeft toegeschreven.

Zij $OB = a$, $OI = r$, $IA = l$, de straal iI van den wrijvingscirkel $= \rho$, $Oo = \rho'$ en μ de wrijvingshoek bij A, verder in B loodregt op AO eene kracht K en in A een tegenstand L, werkende volgens CA. Indien dan de kracht K op het punt is den last L van A naar C te bewegen, dan moet de resultante van L met de drukking S door den trekker AI uitgeoefend, eene resultante volgens Aa vormen, zijnde hoek $aAa' = \mu$; eveneens moet de drukking S in i den wrijvingscirkel aanraken, terwijl eindelijk de resultante van S met de kracht K den wrijvingscirkel in o moet raken.

Stellende dan $OAI = \varphi$, $IAi = \theta$, $BKO = \varphi'$ en $OKo = \theta'$ dan hebben wij:

$$L : S = \cos(\mu + \varphi + \theta) : \cos\mu;$$

alsmede: $$S : K = \sin(\varphi' - \theta') : \cos(\varphi + \theta + \varphi' - \theta').$$

Uit beide deze evenredigheden volgt onmiddellijk:

$$L : K = \cos(\mu + \varphi + \theta)\sin(\varphi' - \theta') : \cos\mu\cos(\varphi + \varphi' + \theta - \theta'),$$

of $$K = \frac{\cos\mu\cos(\varphi + \varphi' + \theta - \theta')}{\cos(\mu + \varphi + \theta)\sin(\varphi' - \theta')} L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

De hulphoeken φ', θ en θ' worden bepaald door hoek $IOA = \alpha$ als gegeven aan te nemen.

Uit den driehoek IiA heeft men φ:

$$\sin\theta = \frac{\rho}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

Uit den driehoek OIA heeft men:

$$r\sin\alpha = l\sin\varphi;$$

of $$\sin\varphi = \frac{r}{l}\sin\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

Verder is:

$$AO = r\cos\alpha + l\cos\varphi$$

$$Bk = (a + r\cos\alpha + l\cos\varphi)\tan(\varphi + \theta);$$

en $$\operatorname{tang}\varphi' = \frac{a\cot(\varphi+\theta)}{a+r\cos\alpha+l\cos\varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c);$$

alsmede $$KO = a\operatorname{cosec}\varphi';$$

en dus $$\sin\theta' = \frac{\rho'}{a}\sin\varphi' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d).$$

Voor elken stand van den trekker, of voor elken hoek φ, verandert de betrekking van den last tot de kracht; om alzoo het verlies aan arbeid gedurende eene geheele omwenteling der schijf AO te vinden, vervalt men in dezelfde zwarigheden als in § 28, bij het beschouwen van de werking der kruk, zijn aangewezen. Om evenwel door een enkel voorbeeld te zien, hoeveel het verschil in den hoek φ tot het verlies van de wrijving bijdraagt, zullen wij stellen $l = 5r$, $\rho = 0{,}02r$, $a = r$ en $\rho' = 0{,}01r$, hetgeen overeenkomt met de wrijvingscoëfficienten aan de spillen te stellen op 0,1, en den straal bij O op $0{,}2r$ en bij I op $0{,}1r$; verder $\sin\mu = 0{,}2$; stelt men nu $\alpha = 0$, dan vindt men uit (1):

$$K = 0{,}032\,L.$$

Zonder wrijving zou alsdan $K = 0$ zijn geweest; alzoo bedraagt hier het verlies der wrijving 0,018 van den last. Voor $\alpha = 90°$, vindt men $K = 1{,}088\,L$, terwijl zonder wrijving $K = L$ is; makende hier de wrijving een verlies van 0,088 L.

Stelt men $\alpha = 180°$, dan is $K = 0{,}018\,L$, hetgeen tevens het verlies door de wrijving voorstelt. Het gemiddeld verlies is dus 0,060 L.

De wrijving bij A heeft hier nog al merkelijken invloed, die men door het aanbrengen van rollen veel verminderen kan. Stelt men die wrijving of $\mu = 0$, dan vindt men voor $\alpha = 0$, even als hiervoren $K = 0{,}032\,L$, omdat alsdan de wrijving bij A weinig invloed heeft; voor $\alpha = 90°$ vindt men $K = 1{,}042\,L$, alzoo slechts een verlies half zoo groot als met de wrijving bij A.

Het gebruik van de schijf of kruk tot het veranderen der rondraaijende beweging in eene afwisselende heen- en weêrgaande, geeft dus weinig verlies aan arbeid, vooral als men de wrijving bij de heen- en weêrgaande beweging, door den schuinen stand des trekkers IA voorgebragt, vermindert door het aanbrengen van rollen; kunnende de vermindering ook verkregen worden, door de

lengte van den trekker, in vergelijking van den straal *O* groot te nemen.

§ 219. In plaats van de pin *I*, stelt men somtijds eene *GH* (Fig. 48) op de as *OB*, en doet deze schijf door den t *AGHI* omvatten; de as *OB* kan dan onbepaald lang zijn, t bij Fig. 47 de as in het vlak der schijf *BI* moet afgesneden om den trekker *IO* voorbij te laten. Wil men echter den t dezelfde uitgestrektheid bij *A* doen doorloopen in eene g omwenteling der as, zooals bij het gebruik van de pin *I* (Fig. dan moet de uitmiddelpuntigheid *OI'* der schijf *IGH* (Fig dezelfde zijn als de afstand *OI* in Fig. 47. Dewijl nu hie bij dezen toestel, dien wij reeds in § 129 onder den naam va *centriek* beschreven hebben, de straal *OI'* veel grooter is dan pin in Fig. 47, zoo zal ook de invloed der wrijving veel aan kelijker zijn.

Stelt men bij voorbeeld de straal *OI'* van het excentriek $=r'=$ en de overige gegevens zooals in het voorbeeld der vorige §, melijk $a=r$, $\rho=0{,}12r$, $\rho'=0{,}01a$, $l=5r$, dan vindt voor de betrekking van het evenwigt: bij $\alpha=0$, $K=0{,}1$ dat tevens het verlies door de wrijving voorstelt; bij $\alpha=9$ $K=1{,}188\,L$, alzoo $0{,}188\,L$ verlies.

Ofschoon dit verlies hier slechts voor een enkel voorbee berekend, zal men overtuigend genoeg zien, dat het gebruik een excentriek, bij het bewegen van aanmerkelijke lasten of derstanden dient vermeden te worden. Men gebruikt dan o excentrieken alleen voor geringe werkingen, zooals het bew van de schuiven bij de stoomwerktuigen enz., doch niet om eigenlijken last of wederstand te overwinnen.

Bij dezen toestel, evenals bij dien van Fig. 47, staat de sne van het punt *A* langs *OA* in elken willekeurigen stand, t snelheid van het punt *I*, als $OL : OI'$.

e.) DRAAIJENDE HEEN- EN WEÊRGAANDE BEWEGING IN REGTLI HEEN- EN WEÊRGAANDE, EN OMGEKEERD.

§ 220. Eene regte getande staaf in een getand rad vat (Fig. 34), zal door zijne heen- en weêrgaande beweging eene gelijke beweging aan het rad mededeelen. De betrekking va straal van het rad tot de lengte, bij elken gang door de

gelegd, zal den hoek door eenig punt van den omtrek des rads, j iederen gang der staaf doorloopen, aanwijzen. Is bij voorbeeld de lengte van den gang der staaf, r de straal van het rad, en eft men $a = \pi r$, dan zal het rad bij elken gang eenen halven mtrek doorloopen. Ten einde het afglijden der tanden van de taaf langs het rad te beletten, moeten aan de achterzijde der taaf steunpunten, of beter rollen aangebragt zijn, waartegen de taaf rusten en zonder veel wrijving bewegen kan.

Dewijl er altijd eenige speling tusschen de tanden van de staaf n van het rad bestaat, zoo zal er bij het teruggaan der staaf ene kleine botsing ontstaan, omdat de zijde der tanden, die te oren niet op elkander drukten, bij het teruggaan juist de druk- king moeten uitoefenen; deze botsingen worden sterker, naarmate le tanden door het gebruik meer uitslijten; zijn dus de druk- ingen op de tanden eenigzins aanmerkelijk, of is de snelheid van len toestel groot, dan ontstaat er niet alleen een merkelijk ver- ies aan arbeid, maar de tanden loopen daarenboven spoedig ge- vaar van af te breken. Het zal overigens geene zwarigheid hebben om de wrijvingen bij dezen toestel te berekenen.

§ 221. Een ander middel tot het overbrengen der beweging, bestaat in de verbinding van twee punten van de staaf, door mid- del van scharnier-kettingen aan de cirkelvormige velg (Fig. 49 *a* en *b*). Het is uit de Figuur duidelijk te zien, hoe bij het nedergaan, de ketting *AB* aan het ondereinde der staaf en het bo- veneind der velg bevestigd, den hefboom *AC* naar beneden trekt, en hoe bij het opgaan de kettingen *DE*, die het ondereind der velg met het boveneinde der staaf vereenigen, de beweging in tegengestelde rigting doen plaats hebben. Om zijdelingsche en scheeve werkingen te ontwijken, zijn er twee opwaarts werkende kettingen, en is er slechts één nederwaarts werkende ketting. Ook bij dezen toestel is het niet wel mogelijk botsingen te ontwijken, als er eenige merkelijke drukking moet worden overgebragt; want de kettingen, onder de uitoefening der drukking eenigermate uit- rekkende, ontspannen de tegengesteld werkende ketting; wanneer dan deze bij het teruggaan moet werken, zijn eerstgenoemde niet meer volkomen gespannen, en ondergaan een' schok op het oogenblik waarop zij de beweging doen veranderen. Deze toestel kan alleen bij het overbrengen van kleine drukkingen gebruikt worden.

§ 222. Indien de hefboom *AB* (Fig. 50) in *A* draaijende,

door middel der koppelstang DB, met scharnieren in D en B voorzien, verbonden is aan eenen tweeden hefboom CD om C draaijende, dan kan men dezen toestel zoodanig inrigten, dat een zeker punt E van DB bijna eene regte lijn $B'EB_1$ beschrijft, als AB om het punt A draait, en daardoor tevens CD doet bewegen. Er zal namelijk een stand AB' en CD' der stangen bestaan, waarbij de koppelstang $B'D'$ verticaal, of in het algemeen in de rigting $B'B_1$ komt, waarin de regtlijnige beweging zal plaats hebben; indien men nu $D'B'$ verlengt tot zij DB doorsnijdt in E, dan zal, onderwijl AB den boog BB' beschrijft, het punt E nagenoeg eene regte lijn EE' doorloopen.

Het is niet moeijelijk voor elken stand van de stang AB, den overeenkomstigen stand van CD en dien van het punt E te bepalen; dewijl men uit eenig punt B'' van den boog BB' door het punt B beschreven, slechts met BD als straal eenen cirkelboog behoeft te beschrijven, om het overeenkomstige snijpunt D'' op den boog DD' door het punt D beschreven, te vinden. $D''E'' = DE$ nemende, is E'' gevonden. Indien men op die wijze, voor eenige standen van AB de punten E'', E' enz., door het punt E doorloopen, bepaalt, dan zal men voor de plaats dier punten, eene kromme van den vorm $EE''E'I'EI_1$ vinden, hebbende buigpunten omstreeks E. Uit de theorie der kromme lijnen weet men, dat bij de buigpunten de raaklijn minder van de punten der kromme nabij het buigpunt afwijkt, dan bij andere raakpunten op de kromme lijn gekozen; zonder groote afwijking zal dan een aanmerkelijk gedeelte $E'E''E_1$ der kromme met de raaklijn overeenstemmen, en alzoo zal de weg, door het punt E beschreven, nagenoeg langs die raaklijn vallen. Indien de hoeken BAB' en BCD' niet grooter dan omtrent 20° zijn, en de koppelstang BD niet kleiner is dan de helft der kortste trekstang, zoo leert de ondervinding, en daarvan kan men zich door eene naauwkeurig uitgevoerde constructie of door berekening overtuigen, dat de afwijking der raaklijn $E'E$ van de kromme, zonder zwarigheid kan verwaarloosd worden, of wel dat het punt E bijna eene regte lijn beschrijft.

Als de beweging van CD'' ook benedenwaarts moet plaats hebben, zoo stelt men de trekstangen AB en CD zoodanig, dat wanneer de punten B en D wederom in EF vallen, de trekstangen haren laagsten stand verkregen hebben, en alzoo de

oppelstang wederom in de lijn EF valt. Hiertoe moet dan $B_1B_1=DB=D'B'$ zijn, en moeten alzoo de koorden der bogen $D'DD_1$ n $B'BB_1$ even groot wezen. Men verkrijgt door deze inrigting et voordeel, dat in de beide uiterste standen E' en E_1 van het unt E, het bewegend punt volkomen naauwkeurig met den mid-delsten stand E in eene regte lijn is gelegen. Zoodra de lengte $E'E_1$ door E af te leggen, gegeven is, alsmede de lengte van eene der trekstangen, AB bijv., dan kan men de plaats der tweede stang bepalen, en daarbij nog eenige willekeurige voorwaarde aannemen.

Zij $B'B_1=E'E_1$ de koorde door het uiteinde B van de eene trekstang beschreven, zoo trekke men bA loodregt op het midden van $B'B_1$ en uit B', met de gegeven lengte $B'A$ van de trekstang, een' cirkelboog snijdende bA in A, waardoor het punt A be-paald wordt; makende nu $B_1D_1=B'D'$ gelijk aan de lengte der koppelstang, en dC loodregt op het midden van $D'D_1$, dan zal men, door uit D' met de lengte CD' der tweede trekstang een' cirkelboog te beschrijven, het draaipunt C dier stang gevonden hebben. Beschrijvende eindelijk uit B met $B'D'$ als straal, een' cirkelboog, snijdende den boog $D'DD_1$ in D, en trekkende BD, dan zal het snijpunt E van DB met $D'F$ het punt E bepalen, hetwelk bij de beweging der trekstangen bijna eene regte lijn zal beschrijven.

§ 223. In plaats van de koppelstangen bij de uiterste standen der trekstangen in de lijn $B'B_1$ te plaatsen, kan men andere voorwaarden aannemen: bijv. de koppelstang loodregt op de trek-stangen stellen, wanneer deze in het midden harer door te loo-pen bogen zijn gekomen, zooals Fig. 51 aanwijst. Indien de hoeken door de stangen AB en CD beschreven, onder en boven de lijnen AB en CD, niet veel meer dan 20° bedragen, en de koppelstang is niet veel kleiner dan de kleinste trekstang AB of CD, dan zal zeker punt E van DB nagenoeg eene regte lijn beschrijven, dat is: zonder merkelijke afwijking op het verlengde van BD bewegen; daartoe moet het punt E de stang BD in omgekeerde reden der aangrenzende trekstangen verdeelen; dat is trekkende AS, zoo moet $BE=ID$ zijn; het punt E beschrijft dan in het algemeen eene kromme lijn $EE''E'EE_1$.

§ 224. De in § 222 aangewezen inrigting der stangen is te verkiezen boven deze laatste; omdat bij eerstgenoemde het bewe-

gende punt E in zijne uiterste standen E' en E_1 volmaakt in d verlangde lijn is gelegen; hetgeen onder anderen vooral voor deelig is bij het bewegen der zuigers in de pompen of cilinder der stoomwerktuigen. Aldaar moet de zuigerstang van den stoom cilinder, om alle nadeelige wringingen voor te komen, zoo vol maakt mogelijk lijnregt op- en neêrbewegen; vooral bij het nade ren van het boveneinde van de zuigerstang, digt aan het deksel des stoomcilinders, dient de afwijking van dit boveneind, uit d loodlijn waarin hij bewegen moet, zoo gering mogelijk te wezen, omdat eene geringe afwijking hier nadeeliger werkt dan wanneer de zuigerstang, hooger boven het deksel uitstekende, eerder eenige geringe afwijking kan verdragen. Meer bijzonderheden omtrent deze toestellen, kan men vinden in de Werktuigkunde van den Hoogleeraar Verdam (1).

§ 225. Indien door eene koppelstang met twee trekstangen, eenige arbeid op eene der stangen, bijv. op AB (Fig. 52), moet worden overgebragt, door middel van eene kracht, werkende volgens EG, dan wordt de grootte der drukking, daardoor loodregt op AB overgebragt, gevonden door de kracht volgens Bi loodregt op AB te bepalen, die door middel der steunpunten A en C, de kracht volgens EG in evenwigt houdt. Ontbindende de kracht in EG, in twee andere, P en Q, in D en B, even wijdig aan EG; dan kan men de kracht P in D volgens het verlengde der trekstang DC en volgens de koppelstang ontbinden; eerstgenoemde kracht P′ geeft de drukking in C, en de tweede P″, de drukking op het gedeelte DE der koppelstang; stellende dan verder de kracht P″ in B volgens Bc te zamen met Q, tot eene kracht volgens Bg, dan moet deze kracht met Bi evenwigt maken; de lijn gh loodregt op AB is dan de grootte der kracht volgens Bi.

Wil men de wrijving bij A, C, B en D in rekening brengen, dan heeft men slechts de krachten volgens AB, BD en DC zoo danig te rigten, dat zij niet juist volgens die lijnen loopen, maar de wrijvingscirkels bij A, B, C en D aanraken. Wanneer de lengte der stangen niet te klein is in vergelijking van de middellijnen der spillen in A, B, C en D, dan is het gemakkelijk in te zien, dat de invloed der wrijving niet groot kan wezen

(1) IV Deel p. 523 en volg.

Indien er daarenboven geene speling in de scharnieren bestaat, dan ontstaan er geen schokken bij den overgang der kracht volgens EG in de tegengestelde rigting. De hier beschreven toestellen zullen dan in het algemeen, bij eene behoorlijke uitvoering, weinig verlies aan arbeid opleveren. Bij het overgaan der beweging in eene tegengestelde rigting, zullen blijkbaar ook al de hier aangewezen krachten in tegengestelde rigting werken.

§ 226. De toestel door den vermaarden Watt bedacht, om de heen- en weêrgaande beweging van den stoomzuiger op een' hefbalk over te brengen, is eene wijziging van de hier beschreven inrigtingen. Indien men namelijk de hefbalk DC (Fig. 53), die op de hiervoren beschreven wijze aan de stang AB, door middel van de koppelstang DB is verbonden, verlengt, en door het aanvoegen van twee koppelstangen FG en FB evenwijdig aan BD en DC een parallelogram $FBDG$ vormt, hetwelk, met scharnieren in de hoeken voorzien, de beweging der trekstangen volgen kan, dan zal, zoo het hoekpunt F in het verlengde van CE is gelegen, dit punt eene kromme lijn doorloopen, gelijkvormig aan die door het punt E beschreven, dewijl FG en DE altijd evenwijdig en in standvastige reden blijven. Beschrijft dus het punt E bij de beweging van DC bijna eene regte lijn, dan zal het punt F eveneens bijna eene regte lijn beschrijven. Men heeft hier nu volkomen het parallelogram reeds in § 130 bij de beschouwing der stoomwerktuigen beschreven. In E is gewoonlijk de zuigerstang der luchtpomp en in F de zuigerstang van den stoomcilinder verbonden; of eigenlijk — omdat er twee parallelogrammen zijn, aan elke zijde van den hefbalk één — zijn de zooeven genoemde stangen verbonden aan de dwarsjukken of staven, die de gelijknamige punten F en E in de beide parallelogrammen verbinden.

Om de ruimte achterwaarts van den stoomcilinder te besparen, stelt men meestal het punt A niet veel buiten de loodlijn uit F en maakt men $GD = CD = AB$; alsdan is blijkbaar de koorde door E afgelegd, de helft der koorde door F beschreven, zooals wij ook in § 119 hebben opgegeven.

Dewijl het punt F eene baan beschrijft, gelijkvormig met die van E, doch op eene dubbele schaal, als namelijk $GC = 2DC$ is, zoo zullen ook de afwijkingen uit de regte lijn bij F, dubbel zoo groot zijn als die van het punt E; men zal dus bij de stoom-

werktuigen vooral geen grootere bogen dan van 20° aan
stangen, boven en beneden den horizontalen stand, mo
beschrijven.

§ 227. Het zal, naar aanleiding van het ontwikkelde
geen zwarigheid hebben, de drukkingen of spanningen
len, door de verschillende stangen ondergaan, onder de
van de krachten in E en F, alsmede om den invloed
vingen op de spillen te bepalen. Bij eene behoorlijke e
heid der deelen, zal die wrijving geen groot verlies ve
en zullen de schokken kunnen ontweken worden (1).

f.) HET PLOTSELING AFBREKEN EN VERBINDEN DER BEWE EN REGELING DER SNELHEDEN.

§ 228. Bij zeer vele werktuigen kan het noodig zijn,
weging van het geheele werktuig op een bepaald oogenb
houden, of ook gedeeltelijk te doen stilstaan, terwijl he
voortbeweegt; evenzoo kan het noodig wezen de rig
beweging te veranderen. Wij zullen hier eenige der n
bruikelijke toestellen, tot dat einde uitgedacht, beschrij

In het algemeen doet men elk werktuig stilstaan,
werking der bewegende kracht te doen ophouden. Wo
eenig werktuig door menschen of dieren bewogen, dan kan
hen te doen stilstaan, de beweging van het werktuig
digen. Evenwel zal die ophouding niet plotseling plaats
de snelheid aan de verschillende deelen medegedeeld, z
gewijze, door den wederstand van den last, de wrijving
worden uitgeput. Indien een arbeider bij voorbeeld in e
of treerad (§ 34) loopt, dan zal, wanneer hij zijne
staakt, het rad nog eenige oogenblikken in dezelfde rigtin
bewegen, zoodat zelfs de arbeider gedwongen wordt zicl
waarts te bewegen, om zijn evenwigt niet te verliezen.
de beweging van het werktuig zeer langzaam, dan zal
ophouden van de werking der bewegende kracht, de
zeer spoedig zijn uitgeput, en het heeft dan geene zw
de beweging in zeer weinige oogenblikken te doen eindi

(1) Men kan eene meer uitvoerige berekening hieromtrent vinden, in
van de IIIe Reeks, der Verhandelingen van het K. Ned. Instituut, bl

Is de snelheid der bewegende massa integendeel vrij groot, dan eindigt de beweging niet spoedig, en wordt de geheele toestel nog eenigen tijd voortgedreven. Indien bijvoorbeeld molensteenen of dergelijke massa's, door middel van een' paardenmolen, worden rondgevoerd, en men verlangt voor eenige oogenblikken de paarden te doen stilhouden, dan zou de boom waaraan de paarden gespannen zijn, door de verkregen beweging voortgaan, tegen de paarden stooten en deze tot beweging noodzaken; waaruit blijkbaar soms gevaarlijke beschadigingen kunnen voortvloeijen. De volgende inrigting vindt men bij Poncelet beschreven, als te Metz in gebruik om dit nadeel voor te komen.

De paarden zijn aan boomen gespannen, verbonden aan eene verticale spil, waaraan het groote rad AB (Fig. 54) is verbonden; dit rad drijft een rondsel, geheel vrij om de as C bewegende, en zou alzoo die as niet medevoeren, indien de nok c op de as bevestigd, niet stuitte tegen een uitstekend stuk hout D, aan het rondsel verbonden, en door eene opening d in het bord van het rondsel uitkomende, waarin het op- en neêr kan bewegen. Dit stuk hout wordt door eene veer F, zooals in de Figuur te zien is, nedergedrukt; beweegt nu het rad in de rigting van het pijltje van B naar A, dan draait het rondsel van G naar H, en door middel der nok c wordt de as C medegevoerd. Doch laat men de paarden stilstaan, dan zal de beweging van het groote rad spoedig genoeg ophouden, maar het rondsel door de meerdere massa en snelheid der overige deelen, nog voortbewegen in de rigting GH. Hierdoor zal dan de nok c het hout of den pal D verlaten, tot dat de nok c weder aan de andere zijde tegen den pal aansluit; maar aan die zijde is de nok, zooals de Figuur aanwijst, schuin afgewerkt; zij ligt dan den pal D op, die, in de opening d plaats vindende, de nok doorlaat. Op deze wijze kan de as C eenigen tijd ronddraaijen, zonder dat het noodig zij de paarden in beweging te houden. Stelt men echter de paarden weder in gang, dan zal, zoodra de snelheid van het rad AB grooter wordt dan die van de as C, de nok weder worden aangedrukt, en de verbinding der deelen hersteld zijn.

§ 229. De werktuigen door den wind bewogen, brengt men tot stilstand, door middel van den zoogenaamden vang, werkende op het bovenwiel HG (Fig. 9), alwaar bij I en K de doorsnede des vangs is voorgesteld. Buiten om het bovenwiel (Fig. 55) wordt

namelijk eene velling of hoepel *BDEFK* aangebragt, het rad omtrent geheel omvattende; die hoepel, den eigenlijken vang uitmakende, bestaat uit drie of vier stukken wilgenhout, met ijzeren platen aan elkander verbonden; het eene eind *K* van den vang wordt stevig bevestigd aan een of ander vast punt *A* in den molen, aan het ander eind *B*; werkt aan eenen ijzeren staaf *LB* een balk *L*, vangbalk genaamd, in Fig. 9 door *LM* aangewezen; deze balk, die aan zijn uiteinde *O* (Fig. 9) om een bout kan draaijen, oefent enkel door zijn gewigt, of des noods door aangebragte belasting, eene vrije aanzienlijke drukking of spanning uit op het ijzer *LB*, doordien het steunpunt *O* (Fig. 9) zeer digt bij het punt *L*, alwaar de vangbalk op den vang werkt, is aangebragt. Laat men dus den vangbalk op den vang drukken, dan sluit de vang om het bovenwiel, nagenoeg op dezelfde wijs als een touw om den buitenomtrek van het wiel geslagen. Hierdoor wordt de beweging van het rad aanmerkelijk vertraagd, en zoo die wrijving aanhoudt en groot genoeg is, zal die tegenstand spoedig de beweging geheel uitputten en den molen doen stilstaan. Wil men de werking van den vang doen ophouden, dan ligt men, door middel van den vangstok *PQ* (Fig. 9), den vangbalk op, en daar deze aan den vang door middel van een ijzer verbonden is, wordt het rad geheel vrij van den vang, die, om niet altijd door den vangstok gedragen te worden, in een zoogenaamd sabelijzer haakt, en daarin opgehouden wordt.

§ 230. De spanning door den vangbalk op den vang voortgebragt, behoeft niet zeer groot te wezen, om eene zeer aanzienlijke vertraging op het bovenwiel voort te brengen.

De stukken *DB*, *DE*, *EF* en *FK*, waaruit de vang bestaat, kan men in de voegen *D*, *E* en *F* als door scharnieren verbonden, beschouwen, omdat werkelijk de verbinding in die voegen genoegzame speling toelaat om den vang al of niet te doen klemmen. Het stuk *BD* wordt getrokken door eene kracht P volgens *BL*, voortgebragt door den vangbalk en oefent daardoor eene spanning S in *D* uit, volgens de raaklijn *ID* in *D*. Die spanning S in tegengestelde rigting in *D*, houdt, met de wrijving langs den boog *DB*, de kracht P in evenwigt; wanneer dan het rad, bewegende in de rigting van *D* naar *B*, door de wrijving van de deelen des vangs in rust wordt gehouden, doch op het punt is die wrijving te overwinnen, zal de resultante *Ic* der

achten S en P den boog DB, volgens eene lijn doorsnijden die het de normaal Ci een' wrijvingshoek vormt. Stellende dan hoek $iIC = \varphi$ en hoek $ciC = \mu$, dan is, zoo de boog DB een vierde an den omtrek omspant:

$$\sin\varphi : \sin\mu = Ci : CI = 1 : \sqrt{2};$$

of

$$\sin\varphi = \tfrac{1}{2}\sqrt{2}\sin\mu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a).$$

Verder is: $\quad P : S = \sin(45° - \varphi) : : \sin(45° + \varphi);$

of:

$$S = \frac{\sin(45° + \varphi)}{\sin(45° - \varphi)}\, P = P\,\mathrm{tang}(45° + \varphi).$$

Om dezelfde reden zal men hebben voor de betrekking van de spanning S' in E tot die in D:

$$S' = S\,\mathrm{tang}(45° + \varphi) = P\,\mathrm{tang}^2(45° + \varphi);$$

het zal verder geen zwarigheid hebben in te zien, dat, op dezelfde wijze voortredenerende, de kracht Q volgens AK zal zijn:

$$Q = P\,\mathrm{tang}^4(45° + \varphi) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b);$$

namelijk indien de boog FK ook 45° bespant, hetgeen niet volkomen naauwkeurig is. Voor $\mu = 23° 30'$, hetgeen nagenoeg voor de wrijving van droog hout kan genomen worden, vindt men uit (a) $\varphi = 16° 23'$, en uit (b) $Q = 11{,}3\,P$.

Passen wij deze uitkomst toe op den molen, in § 59 beschreven. Volgens de aldaar gevoerde berekeningen kan deze molen, gedreven door eenen wind van 10 el in de seconde, een' arbeid op de molenas leveren van 1393 arbeidseenheden in de seconde; in welken tijd de as, volgens de waarneming, zeer nabij een vierde omwenteling volbrengt. Rekent men het gewigt van den vangbalk op 150 pond, werkende op het einde van een' hefboomsarm vier maal grooter dan die waarop de vang werkt, dan is de kracht P volgens LB, 600 pond, en daar de kracht Q in tegengestelde rigting van P werkt, zoo is het moment der kracht waarmede de omdraaijende beweging wordt tegengewerkt, $r(Q - P) = 10{,}3\,rP$, zijnde $Ci = r$. Stellende dan verder den straal van het bovenwiel $= 1{,}5$ el, dan wordt er bij een vierde omwenteling, een' arbeid van $0{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot \pi \cdot (Q - P) = 14472$ door den vang uitgeoefend; daar nu de wind op den molen in dienzelfden tijd slechts een' arbeid

van 1393 levert, zoo blijkt hieruit, hoe spoedig de vang den molen tot stilstaan kan brengen; wordende het verschil 14472—1393 = 13079, gebruikt om de snelheid der bewegende deelen van den molen uit te putten. Overigens kan men den vangbalk nog, des noodig, door gewigten bezwaren, en alzoo zijn vermogen vermeerderen. In § 240 zal men een voorbeeld vinden tot het berekenen van den juisten tijd, waarin men de molenwieken tot stilstand brengt.

§ 231. Hoewel de vang hoofdzakelijk in den vorm, als hierboven beschreven is, in den windmolen wordt gebruikt, zoo heeft men hem ook, onder eenigzins andere gedaante, bij andere werktuigen toegepast. Reeds in § 10 hebben wij eenen vang beschreven, waardoor de arbeid van krachten op wentel-assen wordt gemeten. Bij kranen en andere werktuigen, zware lasten heffende, gebruikt men een' dergelijken toestel, hoofdzakelijk zamengesteld uit een breed en dun ijzerblad, om een der raderen van het werktuig geklemd; door het drukken op eenen hefboom, brengt men de vereischte spanning voort. Bij het nederlaten van lasten gebruikt men den vang, om de snelheid van den last bij het einde van zijne baan spoedig te matigen. Men kan in het begin der nederlating den last bijna aan zich-zelven overlaten, en de daardoor verkregen snelheid bij het einde van de baan, spoedig met den vang verminderen en geheel wegnemen.

Bij molens door het water gedreven, behoeft men geen' vang; het afsluiten van den waterstroom doet het werktuig spoedig stilstaan. Evenwel zou men door het aanbrengen van een' vang die beweging nog spoediger kunnen staken, indien zulks noodig mogt zijn.

§ 232. Bij stoomwerktuigen doet men de beweging ophouden, door het sluiten van de smoorklep of door het losmaken der stoomschuiven, kranen of kleppen van den toestel, waarmede zij bewogen worden. Nog spoediger kan men de beweging doen ophouden, door de schuiven of kleppen uit de hand te bewegen en den stoom te doen vloeijen in de tegengestelde rigting waarin de zuiger beweegt. Om een stoomwerktuig zonder schokken of nadeelige werkingen te doen stilstaan, neemt men het oogenblik waar, waarin de zuiger zich halver slag bevindt, en brengt dan uit de hand de schuiven in haren middelbaren stand; hierdoor wordt de toevoer van stoom afgesneden, de stoom werkt bij uitzetting en

snelheid vermindert; alsdan brengt men de schuiven in haren ogsten of laagsten stand, om den stoom in de tegengestelde rigng der beweging te brengen; hierdoor werkt men de beweging erk tegen, en spoedig blijft het werktuig staan.

§ 233. Bij stoomwerktuigen alwaar eene ronddraaijende beweing wordt voortgebragt, kan het somtijds, onder anderen bij stoomooten, noodig wezen de ronddraaijende beweging in tegengelde rigting te doen plaats hebben. Alsdan is het excentriek *AB* (Fig. 56), waardoor de schuiven of kleppen bewogen worden, niet aan de wentelas *C* verbonden, maar kan daarom vrij draaijen, ot dat eene nok *K*, op de as bevestigd, tegen het einde *F* eener gleuf *DEF* in het excentriek gemaakt, steunt. Draait de as in de rigting *DEF*, dan drijft de nok het excentriek in dezelfde rigting, even als of hij aan de as verbonden was; doch doet men, door de schuiven van het excentriek los te maken, op de wijze zooals in § 232 beschreven is, den stoom tegen de beweging van den zuiger invloeijen, dan gaat daardoor de wentelas terug in tegengestelde rigting, zonder het excentriek mede te voeren, tot dat de nok tegen het ander einde *D* der gleuf stoot en het excentriek weder medevoert. Blijkbaar zal het excentriek in den nieuwen stand de schuiven in juist tegengestelde rigting bewegen en dus in denzelfden stand der kruk den stoom aan de tegengestelde zijde doen invloeijen, en alzoo de beweging omkeeren. Om het terugdraaijen van het excentriek te beletten, wanneer zijn zwaartepunt aan de tegengestelde zijde der nok valt, wordt aan de excentriekschijf eene tweede schijf *A'E* aangebragt, die het gezamenlijk zwaartepunt in het middelpunt der as brengt.

In § 178 is nog eene andere wijze van omkeering der beweging, bij de stoomwagens in gebruik, voorgesteld. Ofschoon men daar ook wel den toestel van Fig. 56 kon gebruiken, en ook werkelijk gebruikt heeft, verkiest men liever den toestel in Fig. 25 aangewezen, omdat al spoedig het uitslijten der sleuf *DE* (Fig. 56) de juistheid der beweging hindert, die bij de stoomwagens van veel meer belang dan bij de stoombooten is, wegens de korteren slag der zuigers.

§ 234. Behalve het geheel doen stilstaan der werktuigen, is het in zeer vele gevallen gemakkelijk, alleen eenige gedeelten van het werktuig te doen ophouden, of, in stilstand zijnde, weder in beweging te brengen, zonder de beweging der overige deelen

te hinderen, tot dat einde zijn verschillende toestellen bedacht. In § 203 hebben wij reeds beschreven, hoe men gespannen riemen (Fig. 37), door het wegnemen der drukking van een gewigt *K*, kan ontspannen, en alzoo een gedeelte van eenig werktuig doen stilstaan. In plaats van dit middel, kan men ook naast het rad, of naast de schijf waarop de riem is gespannen, eene tweede schijf van gelijke middellijn aanbrengen, die vrij om de as kan draaijen, en daarom eene *looze* schijf genoemd wordt. Drukt men nu gedurende de beweging, langzamerhand den riem zijdelings van de eene schijf op de andere, dan verlaat hij de vaste schijf en gaat over op de losse, die nu, vrij aan de as draaijende, deze niet meer beweegt; door den riem terug te drukken doet men de beweging hervatten. Deze laatste inrigting is in zooverre boven de voorgaande te verkiezen, als zij de slijting, door de rol *D* (Fig. 37) veroorzaakt, voorkomt, doch de afbreking en verbinding heeft niet zoo spoedig plaats.

Door den riem evenwijdig aan zich-zelven over vaste schijven, waarvan de middellijnen omgekeerd veranderen, te verplaatsen, zoodat de lijnen *AB* en *CD* (Fig. 57) evenwijdig zijn, zullen zij altijd gespannen blijven, maar de betrekkelijke snelheid der assen telkens veranderen; hetgeen in sommige gevallen nuttig kan zijn.

Ook kan men een der tappannen *ab* waarin de as beweegt, door middel van hefboomen of anderzins, een weinig achter- of vooruitbewegen, daardoor de spanning der riemen verminderen en alzoo de verbinding der beide assen naar goedvinden herstellen of afbreken.

§ 235. Wanneer getande raderen op elkander werken, zooals in Fig. 58, dan kan men, door het eene rad langs de as verschuifbaar te maken, de verbinding der deelen naar goedvinden afbreken en herstellen.

Wil men het eene gedeelte eener as onafhankelijk van het andere gedeelte doen bewegen, dan kan men aan de einden twee getande raderen aanbrengen, die, zooals de Figuur 59 aanwijst, in elkander vatten, en daardoor de beide assen verbinden; is nu een der raderen verschuifbaar langs de as, dan kan men door het verschuiven, de verbinding naar goedvinden daarstellen of afbreken. De vorm der tanden in de Figuur afgebeeld, zal slechts de verbinding der beweging daarstellen, wanneer de zijden *ab* der tanden tegen elkander drukken; heeft de beweging in tegenge-

elde rigting plaats, dan schuift het beweegbaar rad terug. Om e beweging in beide rigtingen te verbinden, moeten de tanden en vorm van Fig. 60 hebben.

§ 236. Om het terugdraaijen van sommige gedeelten van een verktuig te beletten, wanneer het andere gedeelte achterwaarts gat, gebruikt men de zoogenoemde *pallen*. Moet bij voorbeeld de as *C* (Fig. 62) het rad *AB* drijven, maar bij het teruggaan het rad niet medevoeren, dan maakt men het rad vrij van de as, doch voegt aan de as tegen het rad het zoogenaamde *palrad DE*. Vat nu de pal *F* in het rad, dan zal, bij de beweging der as in de rigting van *GDE*, het rad worden medegevoerd, doch draait de as terug, dan wordt het rad vrij.

In plaats van den pal kan men op de as eene nok aanbrengen en eene gleuf in het rad; door dan het rad tegen de nok aan te drukken, wanneer de as beweegt en het rad stilstaat, zal de nok in de gleuf vatten en alsdan het rad medevoeren, terwijl door het terugdrukken van het rad de verbinding opgeheven wordt.

§ 237. De verbinding tusschen twee getande raderen wordt ook verkregen, zooals in Fig. 63, door de as *BE* van het eene rad te doen rusten op een' hefboom *AC*, die op de eene of andere wijze bij *C* een weinig nedergelaten kan worden.

§ 238. Bij het afbreken der bewegingen, blijft het vrij gelaten gedeelte nog eenigen tijd door zijne verkregen beweging voortgaan, doch de beweging wordt onmiddellijk vertragend; daarentegen zal het andere gedeelte, dat nu minder wederstand ondervindt, versnellen. Uit de hoegrootheid der bewegende kracht ten opzigte der overblijvende wederstanden, kan men beoordeelen of de versnelling ook te veel zal toenemen en daardoor gevaarlijk worden.

Vooral moet er, bij het herstellen der verbinding, gelet worden of er geene gevaarlijke botsingen kunnen ontstaan; want zoodra de bewegende deelen tegen de in rust zijnde aanstooten of in elkander grijpen, heeft er eene botsing plaats, die het afbreken of verbrijzelen dier deelen ten gevolge kan hebben. Wanneer alzoo aanzienlijke massa's in beweging worden gebragt, of dat de snelheid der bewegende deelen, die met de in rust zijnde moeten zamenvatten, zeer groot is, doet men altijd voorzigtiger het geheele werktuig tot stilstand te brengen, of ten minste aan-

merkelijk in snelheid te matigen, alvorens de verbinding stellen.

Kan men de verbinding langzamerhand daarstellen, zo het meer en meer spannen van riemen zonder eind (Fig. 3 werkt de wrijving aan de schijven als eene vertragende op het bewegend deel, en als eene versnellende op het r deel, hetwelk alzoo langzamerhand zonder schokken in be komt. Voor het mededeelen van aanzienlijke snelheden verbindingswijze alzoo voordeelig.

§ 239. Hetzelfde oogmerk heeft men getracht te bereike aan het rad AB (Fig. 64) om de as CD draaijende, een kegelvormige kom EF te verbinden; eene andere dergelijk GH, die alleen langs de as CD schuiven kan, doch altijd m meêdraait, zal, door in de kom EF te schuiven, eene w langs de ronde oppervlakken voortbrengen, die groot gen kunnen zijn om het rad AB mede te voeren. Wanneer de werking die het rad AB moet verrigten, eenigzins aanme is, moet er eene vrij aanzienlijke drukking in de rigting v tegen de kom GH worden uitgeoefend, om de vereischte ming der oppervlakken en daardoor de verlangde wrijving krijgen.

Om de uitwerking der wrijving in dit geval te berekene stellen wij de drukking door den kegel GH op EF, als ver op den cirkel EF in het midden der schuine zijde g elk der punten van dien cirkel ondergaat dan eene drukki zoo de wrijving op het punt is van overwonnen te worden, elk dier drukkingen wrijvingshoeken met de normalen ronde oppervlak des kegels ELF. Trekt men alzoo de loo EO, OF, dan zal de kegel EOF al de normalen bevatten punten des kegels ELF, die in den cirkel EF gelegen zij rigting der drukking bij elk dezer normalen is gelegen in kend vlak aan den kegel EOF, gaande door die normaal. zoo p de drukking in eenig punt van den cirkel EF, en o dende die kracht volgens de normaal en volgens de raakl den cirkel EF, door den voet dier normaal getrokken, $p\cos\mu$ de kracht volgens de normaal of volgens de schuin des kegels EOF, en $p\sin\mu$ die volgens de raaklijn aan d kel EF. Dewijl nu blijkbaar in elk punt van den cirk zulk eene kracht $p\sin\mu$ in de rigting van die raaklijn werkt

zelfde zijde gerigt, zoo geeft de resultante van al die krachten n koppel $rP \sin \mu$ (Statica § 110), indien P de som der drukngen op den cirkel EF voorstelt en r zijn' straal.

De krachten $p \cos \mu$ volgens de schuine zijden van den kegel OF, kunnen tot eene enkele kracht F volgens de as des kegels erleid worden, voorgesteld door $P \cos \mu \sin ELC = P \cos \mu \sin \delta$, is hoek $ELC = \delta$ is, en wij hebben voor het moment M van het oppel op de as OL, $M = Pr \sin \mu = \frac{rF \sin \mu}{\cos \mu \sin \delta} = \frac{rF \tang \mu}{\sin \delta}$.

Hoe scherper dus de hoek δ van den top des kegels ELF is, es te grooter zal het moment der wrijving zijn; voor $\delta = 30°$ is $M = 2rF \tang \mu$.

De drukking F moet voortdurend door middel van gewigten of anderszins uitgeoefend worden, tenzij het ineendringen der beide kegels eenige spanning op den buitensten voortbrengt, welke den binnensten voldoende geklemd houdt. Doch in dit laatste geval dient die drukking in de rigting der stralen van den cirkel EF met de normaal OF geen' grooteren hoek dan den wrijvingshoek te vormen, dewijl anders de binnenste kegel weder achterwaarts zou glijden.

Hoewel bij inrigtingen als de hier beschrevene, de beweging langzamerhand wordt medegedeeld en de schokken of botsingen ontweken worden, zal men evenwel bij snelle bewegingen of bij groote massa's zeer voorzigtig moeten wezen bij het gebruiken van die toestellen, omdat, wanneer eene groote snelheid in korten tijd wordt medegedeeld of eene aanzienlijke massa in beweging komt, daartoe groote krachten ontwikkeld worden, die op de assen en verdere deelen zeer nadeelig zullen werken. Men gebruikt dan dit zamenstel alleen bij het overbrengen van kleine krachten, omdat anders de drukkingen langs de kegels te groot worden. De juiste helling van de zijden des kegels is binnen vrij enge grenzen bepaald; bij te stompe tophoeken moeten de drukkingen zeer groot wezen, en bij te scherpe, klemmen de kegels te veel in elkander. De helling van $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{6}$ van de hoogte, schijnt de grens te wezen, waarbinnen men blijven moet (1).

§ 240. Dezelfde aanmerking geldt omtrent het gebruiken der vangen, om de snelheden te matigen of uit te putten; worden

(1) *Pract. mech. magazine*, *Jan.* 1844, p. 138.

die toestellen met te veel kracht of spoed aangewend, dan is de beweging spoedig gewijzigd, doch daarbij ontwikkelen zich zeer groote krachten die gevaarlijk kunnen worden. Zoo kan men bijv., door het te spoedig aanklemmen van den vang der windmolens, de roeden bij de as doen scheuren of zelfs geheel afbreken. Het zal niet onnut wezen, door een voorbeeld, in getallen te doen zien, hoe men de uitwerking op de roeden, door het vangen van een molenas, kan beoordeelen. Daartoe heeft men slechts te berekenen hoe groot de kracht aan het einde der roede moet zijn, om de snelheid der molenroede in eenen bepaalden tijd uit te putten; want wordt dan werkelijk de snelheid in dien tijd uitgeput, dan ondergaat ook werkelijk het einde der roede de werking eener vertragende kracht gelijk aan de berekende.

Stellen wij dat de molen, in § 57 beschreven, rondgaat met eene snelheid van 60 einden in de minuut, hetgeen in de aangehaalde § is opgegeven, als de snelheid die zulk een molen bij eene windsnelheid van 10 à 11 el in de seconde verkrijgt, en nemen wij aan, dat men door het werken van den vang, den molen wil doen stilstaan in den tijd waarin hij eene vierde omwenteling aflegt; de werking van den vang zal men kunnen beschouwen als die van eene standvastige vertragende kracht, en daar juist de molen in een vierde omwenteling of in één seconde tot rust moet komen, zal die kracht eene vertraging, juist gelijk aan de snelheid van den molen, moeten voortbrengen. De hoeksnelheid v van den molen is $\frac{1}{2}\pi$, en daar in het algemeen $v = Gt$ is, als G de hoekversnelling in de seconde aanwijst, zoo zal hier $G = \frac{1}{2}\pi$ moeten zijn. Maar volgens § 112 der Dynamica, is het moment lQ der vertragende kracht, die op eene draaijende massa P eene vertraging G voortbrengt:

$$lQ = \frac{G}{g} n^2 P;$$

waarin n^2P het moment van traagheid der massa P, ten opzigte der draaijingsas voorstelt. Beschouwt men dan elke molenwiek als eene staaf van gelijkmatige dwarsafmeting, dan is het moment van traagheid nagenoeg hetzelfde als dat van eene stoffelijke lijn van gelijke lengte als de wiek, alzoo is het moment van traagheid $= \frac{1}{3} l^2 P$, als d de lengte der wiek en P haar gewigt voorstelt.

Wij hebben dan:

$$lQ = \frac{1}{8}\frac{G}{g}l^2P = \frac{1}{8}\frac{\pi l^2 P}{g}$$

Stelt men hier $P = 400$ pond en $l = 13{,}381$ el, dan vindt men $Q = 3822$ en $Q = 285{,}7$ pond. Het vangen van den molen op de aangenomen wijze, vereischt dus de werking eener kracht van 285,7 pond op het einde van elke wiek; wordt dus de molen werkelijk in den aangenomen tijd tot stilstand gebragt, dan is dit hetzelfde alsof men op het einde van elk der wieken eene kracht van 285,7 pond had doen werken. Deze kracht zou, zoo niet de wiek bij de as afbreken, althans dit gedeelte der roede aldaar sterk doen lijden. Gebruikt men dubbel zooveel tijd tot het doen stilstaan, dan komt dit overeen met de werking van de halve kracht, en zoo men den molen eerst na eene geheele omwenteling tot staan bragt, zou zulks met de werking van 71,6 pond op het einde gelijkstaan. De werking van 285,7 pond aan het einde van elke wiek, komt overeen met de werking van 10172 pond op eenen afstand van 1,5 el uit het middelpunt, of op den omtrek van het bovenwiel, alwaar de vang werkt. Volgens § 230 is de werking van den aldaar berekenden vang gelijk aan een moment 14472 of 13079, na aftrek der werking van den wind, en zoo men dus enkel de snelheid van de molenwieken moest tegenwerken, dan zou dit in 10172 : 13079, of in minder dan eene seconde kunnen geschieden. De hier gemaakte berekening is slechts als eene benadering te beschouwen, omdat de molenwieken aan de einden veel dunner zijn dan bij de as, en haar moment van traagheid alzoo kleiner is dan hier het berekende; doch daarbij komt dan nog het moment van het bovenwiel met de molenas.

§ 241. In de Dynamica § 150 is reeds aangetoond, dat bij de werktuigen in het algemeen, in den eigenlijken zin, nooit eene volkomen eenparige snelheid bestaat, maar de beweging van elk werktuig eene aaneenschakeling van versnellingen en vertragingen uitmaakt, waardoor nu eens de beweging sneller is dan de middelbare beweging, en dan eens langzamer. Deze afwijkingen zijn in sommige gevallen vrij uitgestrekt en kunnen voor het werk, door het werktuig verrigt, nadeelig zijn. Indien de ronddraaiende beweging wordt voortgebragt, zooals bij de stoomwerktuigen,

wegingen uit den aard der beweging zelve, onmogelijk de snelheid eenparig kan wezen; immers dient zulk eene beweging van voortgaande in teruggaande te veranderen, en dit kan niet geschieden, zonder dat de snelheid van positief tot negatief overgaat en dus veranderlijk blijft.

Bij de ronddraaijende beweging hangt de invloed der massa niet zoozeer van hare grootte af, als van haar moment van traagheid, en daar dit moment vermeerdert, naarmate de afstand der massa tot de draaijingsas toeneemt, zoo tracht men dien afstand, voor de bijgevoegde massa's, enkel bestemd om de snelheden te regelen, zoo groot mogelijk te nemen. Zal die bijgevoegde massa, door haar gewigt gedurende de beweging, geene versnelling of vertraging voortbrengen, dan dient haar zwaartepunt juist in de as te vallen waarop zij werkt; diensvolgens geeft men meestal aan die massa's de gedaante van een rad van groote middellijn met zware velgen, waarvan dus verreweg het grootste gedeelte der massa in den omtrek ligt en zoover mogelijk van de as verwijderd is. Zulk een rad noemt men *drijf-* of *voerwiel*, of ook *volant*.

Het aanbrengen van een voerwiel zal de versnelling, door eene tijdelijke vermeerdering der bewegende kracht veroorzaakt, binnen bepaalde grenzen beperken, en indien na die voortgebragte versnelling, de bewegende kracht tijdelijk weder afneemt, dan zal eveneens de vertraging binnen bepaalde grenzen besloten blijven. Het voerwiel neemt bij de versnelling een gedeelte van den arbeid der kracht op, en geeft het bij de vertraging wederom af, zoodat dit rad te beschouwen is als eene bewaarplaats van kracht, die het overtollige opneemt, om het bij verzwakking der bewegende kracht, wederom terug te geven.

§ 243. Het kan ook gebeuren dat bij eene standvastige kracht, de beweging oneenparig is, al blijft de wederstand dezelfde: zoo als bij het werken eener standvastige kracht aan eene kruk, wanneer die kracht evenwijdig blijft aan eene bepaalde rigting.

Om eenige aanwijzing te geven, hoe in zulke gevallen de afmetingen van een voerwiel kunnen bepaald worden, zullen wij ons voorstellen die afmetingen te bepalen, zoodat de grootste en kleinste snelheden in de punten B, F, F', I (Fig. 4), alwaar de snelheden haar maximum en minimum bereiken, niet meer van de middelbare snelheid afwijken, dan een zeker gegeven gedeelte van die snelheid.

n wij daartoe de kracht K en den wederstand L tot eene kracht P te zamen, die alsdan in het algemeen op eenen a buiten het middelpunt zal vallen; de versnelling door e krachten K en L voortgebragt, is dan dezelfde als die kracht P. Is dus M de massa van het voerwiel, en verzen wij de massa der kruk en der daaraan verbonden behalve het voerwiel, dan hebben wij hier, ter bepaling voortgebragte versnelling, juist het geval in § 122 der ica behandeld, alwaar de hoekversnelling van eene massa ijende om eene as, berekend is, wanneer er op die massa kele kracht P op een' afstand a uit het middelpunt werkt. ge het ontwikkelde in die §, is de hoekversnelling:

$$G = g\,\frac{(a-\rho)P}{Mm^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

Mm^2 het moment van traagheid der massa M ten opzigte en $\rho = r\sin\mu$ de straal Cc van den wrijvingscirkel bij C. de massa van het voerwiel tevens gewigt heeft, zoo wereigenlijk op de massa M drie evenwijdige krachten M, K waarvan de resultante is P = M+K+L; zij verder de kruk-d, CL = R en voor zekeren stand CA der kruk, hoek $= \varphi$, dan is:

$$a = \frac{Kd\sin\varphi - RL}{M+K+L}.$$

de dan in (α) voor a en P hunne waarden, zoo komt er:

$$G = g\,\frac{Kd\sin\varphi - RL - (M+L+K)\rho}{Mm^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\beta).$$

et punt F, alwaar de kracht K juist evenwigt maakt met genstand L, is de versnelling 0, stellende den hoek $ECF = \delta$, eft men:

$$dK\sin\delta - RL - (M+L+K)\rho = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\gamma);$$

blijkbaar voor het punt hoek F', $ECF = 180° - \delta$ is. rgelijking (β) geeft de versnelling in eenig willekeurig punt en boog EMD; derhalve hebben wij aldaar in het algemeen:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = G = g\,\frac{dK\sin\varphi - RL - (K+L+M)\rho}{Mm^2};$$

en daar $v\delta t = \delta\varphi$ is:

$$v\delta v = g\,\frac{dK\sin\varphi - RL - (K+L+M)\rho}{Mm^2}\,\delta\varphi;$$

waaruit volgt, zoo c de snelheid voorstelt in F, alwaar $\varphi = \delta$ is

$$c^2 - v^2 = 2g\,\frac{dK(\cos\varphi - \cos\delta) - (\delta - \varphi)\,|\,RL + (K+L+M)\rho\,|}{Mm^2},$$

en diensvolgens voor de snelheid c' in F', alwaar $\varphi = \pi - \delta$ is:

$$c'^2 - c^2 = 4g\,\frac{dK\cos\delta\,(\tfrac{1}{2}\pi - \delta)\,|\,RL + (K+L+M)\rho\,|}{Mm^2};$$

waarin voor δ zijne waarde uit (γ) kan gesteld worden. Mag nu c' niet meer van c verschillen dan $\frac{1}{n}c$, dan is $c' = \frac{n+1}{n}c$, derhalve

$$c'^2 - c^2 = \frac{2n+1}{n^2}c^2,$$

en

$$\frac{2n+1}{n^2}c^2 = 4g\,\frac{dK\cos\delta - (\tfrac{1}{2}\pi - \delta)\,|\,RL + (K+L+M)\rho\,|}{Mm^2},$$

of wel door (γ):

$$\frac{2n+1}{n^2}c^2 = 4g\,\frac{\cos\delta - (\tfrac{1}{2}\pi - \delta)\sin\delta}{Mm^2}\,dK \quad . \quad . \quad . \quad (\varepsilon)$$

In deze vergelijkingen is echter de betrekking van K en L of δ niet willekeurig, dewijl die kracht, na eene geheele omwenteling der kruk, wederom in E dezelfde snelheid c moet voortbrengen, zal de beweging bij voortduring dezelfde blijven. De betrekking van K en L uit deze voorwaarden, kan volmaakt op dezelfde wijze afgeleid worden als zulks bij de kruk in § 24 behandeld, is gedaan. De arbeid van K bij eene geheele omwenteling moet namelijk gelijk zijn aan dien van den tegenstand L en van de wrijving op de as. Gedurende het bewegen van E door F naar D, is de drukking op de as K+L+M en van D door G naar E, = L+M−K, omdat alsdan de kracht K in tegengestelde rigting werkt; de middelbare drukking is dus L + M, en daar die drukking altijd een wrijvingshoek vormt met de normaal, is de wederstand door die

rijving, in tegengestelde rigting der beweging, $(L+M)\sin\mu$ en de beid van die wrijving bij eene geheele omwenteling $2\pi(L+M)r\sin\mu$. odat, daar de arbeid van K gedurende dien tijd is $4dK$ en die n L, $2\pi RL$, zoo is:

$$2dK = \pi(L+M)\rho + \pi RL \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\delta).$$

De waarde van K uit deze vergelijking, in (γ) gesteld, geeft:

$$\sin\delta = \frac{2}{\pi} + \frac{\rho}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

erwijl (ε) door dezelfde in plaats stelling, wordt:

$$\frac{2n+1}{n^2}c^2 = 2\pi g\frac{\cos\delta - (\frac{1}{2}\pi - \delta)\sin\delta}{Mm^2}\Big((L+M)\rho + RL\Big). \quad . \quad (2).$$

Uit deze twee vergelijkingen kan nu M gevonden worden, zoodra L en n benevens de afmetingen des werktuigs en de wrijvingshoek gegeven zijn.

§ 244. De toepassing dezer formulen is evenwel vrij omslagtig; men kan ze vereenvoudigen door de wrijving niet mede te rekenen; hierdoor verliest men wel iets in naauwkeurigheid, maar dewijl de wrijving als vertragende kracht werkt, zoo zal, wanneer men bij die verwaarloozing, de waarde van M voor eene gegeven waarde van n berekent, de grens, waarbinnen men de snelheid beperken zal, werkelijk nog iets naauwer wezen, dan uit de berekening zou volgen.

Stellende dan in de vergelijkingen (1) en (2) der voorgaande §, $\rho=0$, zoo vindt men:

$$\sin\delta = \frac{2}{(\pi)} = 39^\circ 32' 24''. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

en

$$\frac{2n+1}{n^2}c^2 = 2\pi g\frac{\cos\delta - (\frac{1}{2}\pi - \delta)\sin\delta}{Mm^2}RL = 1{,}3187g\frac{RL}{Mm^2} \quad . \quad (2),$$

waaruit nu M kan berekend worden.

§ 245. Nemen wij als voorbeeld een stoomwerktuig van 30 paardenkracht, leverende alzoo in eene seconde 2250 arbeid, en laat dit werktuig eene as ronddraaijen door middel eener kruk, zoodis dit in Fig. 16 is voorgesteld. Zij de afstand R waarop

de wederstand L werkt, gemeten uit het middelpunt d
1,5 el; stellen wij verder $c = \pi = 3{,}1416$ el, hetgeen ove
met eene halve omwenteling in de seconde; de arbeid
wederstand L in de seconde is dan $\pi RL = 2250$, en L =
poud. Nemende den krukarm $cZ = 1{,}20$ el, zoo heeft
(2) § 244, $n = 30$ $Mm^2 = 13834$. Alle andere mass
halve het voerwiel, buiten rekening latende, zoo moet
moment van traagheid van dit wiel 13834 bedragen.
kan men nemen het gewigt der velgen, vermenigvuldigd
vierkant van den afstand uit het midden der velgen tot
middelpunt Z, als men namelijk het gewigt der speeke
rekening laat; nemende alzoo dien afstand $= 2$ el $= m$,
men voor M, 3459 pond. Derhalve zal men met een
van ongeveer 3500 pond verzekerd zijn, dat de grootste
geen dertigste gedeelte der middelbare snelheid van dez
zal afwijken.

§ 246. Als de snelheid der draaijende as beneden eene
grens moet blijven, kan een voerwiel noodzakelijk zijn.
is aangewezen, dat eene gemiddelde hoeksnelheid van 1,8
de beweging eener kruk, als er geene andere massa dan
bewogen wordt, even in staat is het stilstaan van het we
de zoogenoemde *doode punten* te beletten. Stellen wij
aan een krukarm de beweging wordt overgebragt van ee
werktuig van 100 paardenkracht, dan zal, blijkens het
van § 109, de middelbare snelheid van den stoomzuige
bedragen, en de lengte van den zuigerslag 2,44 el; z
krukarm eene lengte van 1,22 el verkrijgt, als de zu
onmiddellijk aan de krukstang verbonden is. De middelb
heid van het eind der kruk zal alzoo zijn $\frac{1{,}3\pi}{2} = 2{,}04$
hoeksnelheid 1,6735 el; minder dan de middelbare hoeksnelh
volgens § 27, eene onafgebroken beweging toelaat. De m
de krukas rondbewogen, zal alzoo aanzienlijk moeten ver
worden, dewijl zelfs bij de gemiddelde hoeksnelheid van
het werktuig nog bij de geringste vermeerdering van te
niet door de doode punten zal kunnen bewogen word
dien men in dit voorbeeld verlangde, dat de hoeksnelheid
kruk niet meer dan $\frac{1}{10}$ van de gemiddelde snelheid 1,
mogt afwijken; dan hebben wij in de formule (2) der voorg

$MRc = 7500$, en alzoo $Mm^2 = 305\,000$; of wel bij een voerwiel van 2 el straal, een gewigt van 76 250 pond. Zulk een zwaar voerwiel zou tot groote kosten en ongelegenheden brengen; het zou te verkiezen zijn het wiel op eene tweede as over te brengen, die bijv. viermaal sneller ronddraaide; alsdan zou het gewigt van het wiel slechts $\frac{1}{16} . 76250 = 4766$ pond moeten bedragen.

Het voerwiel herstelt wel de onregelmatigheid der beweging, maar ten koste van den arbeid, dewijl de wrijving die het gewigt van het wiel op de as veroorzaakt, meestal nog al aanzienlijk is.

§ 247. Bij de berekening der massa van het voerwiel is die der as, even zooals de massa van den last of tegenstand, niet in rekening gebragt; die massa's evenwel dragen bij om de snelheid meerder regelmatigheid te geven, omdat tot het mededeelen van zekeren aanwas van snelheid aan die deelen, zekere tijd vereischt wordt; de beweging zal dus altijd nog eenigzins regelmatiger uitvallen dan de berekening aanwijst. Is de massa der in beweging gebragte deelen aanzienlijk, dan kan men het voerwiel soms geheel ontberen, omdat de in beweging zijnde massa's daarvoor in plaats komen.

§ 248. Wordt de beweging door middel eener kruk overgebragt, dan vermindert de onregelmatigheid der beweging, door de kracht te verdeelen op twee of meer krukarmen aan dezelfde as verbonden. Indien namelijk de beide krukarmen regthoekig op elkander zijn gesteld, dan zal, als de kracht aan den eersten arm in het geheel geen moment heeft, de andere met zijn vol vermogen werken; er wordt dan gedurende eene geheele omwenteling der as altijd eenig moment uitgeoefend: zoo wordt de as in stoomwagens en stoombooten meestal door twee werktuigen aan krukarmen bewogen. Door het aanbrengen van eenen derden krukarm zou men de beweging nog regelmatiger kunnen maken, zonder behulp van voerwielen. Bij twee krukarmen die loodregt op elkander staan, is het grootste moment tot het kleinste als $\sqrt{2} : 1$; het gemiddelde moment is dan 1,207.

§ 249. Het is voordeelig den straal der voerwielen zoo groot mogelijk te nemen, en de meeste massa op den omtrek of op de velgen te brengen; doch de speeken van het rad mogen niet te zwak zijn, want niet alleen dienen zij tot ondersteuning

der velgen, maar bij de beweging moeten zij de vertraging of versnelling, door de velgen voortgebragt, overbrengen op de as. Indien zij daartoe dan niet sterk genoeg zijn, zullen zij bij de as afbreken; hiervan zal men vooral gevaar loopen, wanneer de over te brengen versnellingen zeer aanmerkelijk zijn. Als men, bij voorbeeld, een werktuig met een voerwiel voorzien, zeer spoedig door een vang of anderzins wil doen stilstaan, dan moet de snelheid van het voerwiel in zeer korten tijd worden uitgeput; dit vereischt de werking van eene zeer aanzienlijke kracht, en de speeken dienen dan in staat te wezen, de werking dier kracht van de as op de velgen te kunnen overbrengen: er zijn voorbeelden dat de voerwielen in zulke gevallen in stukken zijn gesprongen. Meestal plaatst men de voerwielen in zulke standen, dat, bij het onverhoeds breken, de rondvliegende stukken, die zich hoofdzakelijk in het vlak van het wiel bewegen, zoo min mogelijk schaden kunnen. De kracht waarmede de speeken wederstand moeten bieden om niet af te breken, wanneer de beweging in eenen bepaalden tijd wordt uitgeput, kan volmaakt op dezelfde wijze berekend worden, als zulks voor de molenwieken is gedaan, in § 240.

§ 250. Behalve bij het ophouden van het werktuig, ondergaan de voerwielen nog eene werking bij het versnellen en vertragen, waartegen zij bestand moeten zijn. Indien, bij voorbeeld, de bewegende kracht op eene kruk werkt om eene as rond te draaijen, dan zijn er bij elke omwenteling twee standen, waarin de krukarm in het verlengde van de kracht gerigt is, en alzoo hoegenaamd geen moment voortbrengt om de as te draaijen; het voerwiel vervangt in die oogenblikken de bewegende kracht en onderhoudt de beweging. Dewijl nu de massa der voerwielen niet onmiddellijk tegen den wederstand is aangebragt, maar door de speeken aan de as is verbonden, zoo moeten deze in staat zijn die werking der velgen op de as over te brengen. Stelt men de massa van het voerwiel zóódanig geregeld, dat de beweging bijna eenparig blijft, dan ondergaat het voerwiel, op het oogenblik waarin het moment der bewegende kracht gelijk nul is, eene drukking gelijk aan den tegenstand; en deze drukking tracht de speeken van de as af te breken. Wordt dan door het werktuig een tegenstand L op den afstand R uit de as van het voerwiel overwonnen, dan is het moment van dezen tegenstand RL, en zijn

r m speeken in het voerwiel, dan ondergaat elke speek een mo-
ment $\frac{1}{m}$RL, 't welk men als het moment eener kracht moet beschou-
wen die de speek bij de as tracht af te breken. Volgens § 431
er Statica zal er evenwigt zijn tusschen de veerkracht eener staaf
an een eind bevestigd en aan het andere geheel vrij en niet
ndersteund, maar door een gewigt Q belast, als men heeft:

$$lQ = \tfrac{1}{6} n \frac{a}{\lambda} bh^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Waarin l de lengte der staaf is en $n\frac{a}{\lambda}$ een veranderlijke coëffi-
ent voorstelt, verder b de breedte en h de dikte van de staaf.

In het voorbeeld, in § 245 berekend, is RL = 716,2, alzoo bij
s speeken, is voor eene speek $\frac{1}{6}$RL = 119,4, en volgens het ta-
eltje in § 438 der Statica opgegeven, kan men bij fransch ge-
meed ijzer $n\frac{a}{\lambda} = 60000$ nemen, de palm als eenheid gebrui-
cende. Voor die snelheid is $\frac{1}{6}$RL = Ql = 1194. Stelt men
b = 0,3 of gelijk 3 duim, dan vindt men uit (1) h = 0,63 of 6,3
duim voor de breedte der speeken in het vlak van het voerwiel.

§ 251. De middelpuntvliedende kracht der deelen van het voer-
wiel en voornamelijk die van de massa der velgen, kan ook aan-
leiding geven tot het losscheuren der velgen van de speeken, of
tot het breken der velgen zelven. Zij N de massa van het ge-
deelte velg tusschen twee speeken bevat, r de middelbare straal
van het voerwiel en c de hoeksnelheid, dan is de kracht S, waarmede
dit stuk zich van het middelpunt tracht te verwijderen, volgens
§ 77 der Dynamica:

$$S = \frac{c^2 r^2}{rg} N = \frac{c^2 r}{g} N.$$

In het voorbeeld van § 245 zou men hebben N = $\frac{1}{6}$. 3500 = 583
pond, $c = \pi$, $r = 2$, alzoo S = 1171 pond. Beschouwde men dus
de massa der velgen als aan de speeken verbonden, dan zou elke
speek de werking van een zesde of van 583 pond der massa van
het rad te wederstaan hebben; en dus in de rigting harer lengte
eene spanning van 1171 pond ondergaan; de verbinding van de
speek in de as en met de velgen zou daartoe sterk genoeg moeten
zijn. Doch de velgen zijn niet in zulke gedeelten afgedeeld, maar

te brengen, zal de toestel de navolgende eigenschappen dienen te bezitten:

a) Het water moet niet hooger opgebragt worden dan tot op de juiste hoogte van den bovenwaterspiegel;

b) het moet zonder schokken of botsingen bewogen worden, en

c) de minstmogelijke wrijving veroorzaken.

Kon men ten volle door eenigen toestel aan die voorwaarden voldoen, dan zou, ingevolge het grondbeginsel der levende krachten, de arbeid door de bewegende kracht op den toestel geleverd, juist gelijk zijn aan den arbeid tot het opheffen van den last vereischt. De last is hier blijkbaar de opgebragte hoeveelheid water, en zijn weg de hoogte van opheffing; het product dezer hoeveelheden zou dan, bij een volmaakt werktuig, juist gelijk zijn aan den geleverden arbeid van de bewegende kracht, doch zal blijkbaar deze nimmer kunnen overtreffen.

De meer of mindere volmaaktheid der verschillende toestellen tot het opbrengen van water, zal men dan kunnen beoordeelen uit de vergelijking van den arbeid der bewegende kracht, met het product uit de hoogte van opheffing en de opgebragte hoeveelheid water.

Naar aanleiding hiervan, zullen wij eenige der meest gebruikelijke toestellen tot het opbrengen van water, onderling vergelijken.

DE SCHEPRADEREN.

§ 254. Tot het uitmalen van het overtollige regen- en welwater, dat door de lage ligging van vele streken in ons vaderland, niet van zelve kan afloopen, maar door kunstmiddelen in hooger gelegen waterplassen of rivieren moet worden geloosd, heeft men de zoogenaamde schepraderen, die òf verticaal, òf hellend gesteld worden.

Het verticale of staande scheprad heeft veel overeenkomst met de onderslagraderen in § 69 beschreven; de schoepen zijn evenwel langer en niet naar het middelpunt van het rad gerigt, maar, zooals de Figuur 65^b aanwijst, zoodanig gesteld, dat het verlengde der schoepen den omtrek van den cirkel met *Cc* als straal beschreven, raakt. Dit rad tusschen twee verticale wanden gesteld, waarin het zoo naauwsluitend mogelijk draait, en van

deren door eenen cirkelvormigen bodem AB, *opleider* genoemd, esloten, moet het water uit den achterwaterloop, tusschen de oepen opnemen en ter hoogte van den boven-waterspiegel opengen, alwaar het van de schoepen kan afloopen. Om dit oopen te bevorderen, worden de schoepen niet naar het midlpunt, maar, zooals men het noemt, *druipende* gerigt. Het opbragte water vloeit weg in een gemetseld kanaal, *voorwaterloop* noemd, waarin zich ter afsluiting eene zoogenoemde *wachtdeur* E bevindt, waardoor het boven- of buitenwater belet wordt teg te vloeijen, wanneer het rad stilstaat. De wachtdeur sluit gen eenen aanslag, die haar belet de drukking van het bovenater te volgen; maar zoodra, door de beweging van het schepad, het binnenwater tegen de wachtdeur iets hooger rijst dan et buitenwater, wordt de wachtdeur opengedrukt en het opebragte water vloeit weg. Zelfs doordien het opgebragte water net eenige snelheid tegen de wachtdeur aanstroomt, draait deze eeds een weinig vroeger open, en men trekt alzoo nog eenig voordeel van de snelheid die het water bij het verlaten van het ad bezit.

Het achter- of binnenwater moet zoo onbelemmerd mogelijk tot het rad kunnen toeloopen; de zijwanden die het rad insluiten vangen dan eerst bij de verticale lijn CA uit het middelpunt van het rad aan, terwijl die zijwanden achterwaarts zich trechtervormig verwijderen (Fig. 65^a); kon men ze geheel weglaten, dan was het nog voordeeliger. De gemakkelijke toevoer door het verwijden van den achterwaterloop is met vrucht beproefd in den Uithoornschen polder (1).

§ 255. De schepraden worden hier te lande zelden gebruikt om het water hooger dan 1,6 el op te brengen, doordien dan hunne middellijn reeds aanmerkelijk groot en daardoor het rad zelf te zwaar wordt, om, zooals meestal plaats heeft, door de gewone winden met de vereischte snelheid in beweging te komen; de breedte der schoepen bedraagt meest niet meer dan 1,20 à 1,30 el. Zij zijn gewoonlijk aan de einden iets smaller dan nabij het middelpunt, en vatten meestal niet meer dan 1,20 à 1,30 in het benedenwater, zijnde de schoepen van 24 tot 28 in getal. Met deze afmetingen wordt reeds de middellijn van het rad, 5,80

(1) *Natuurkundige Bijdragen*, IV p. 1.

el, indien zijn middelpunt juist ter hoogte van het bovenwater ligt, hetgeen voor het minst dient plaats te hebben, zal het opgebragte water de schoepen naar behooren verlaten. Kan het water het rad niet spoedig genoeg verlaten, dan wordt het hooger opgebragt dan het buitenwater, en somtijds, wanneer het rad snel ronddraait, weder naar het benedenwater teruggevoerd.

Nadat het rad gesteld is, worden er nog zijdelings smalle stroken of ribben gevoegd, om het zoo sluitend mogelijk in de *krimp* te doen bewegen.

Aan de as van het scheprad, de wateras genoemd, wordt een rad of *onderwiel* *G* (Fig. 65ᵉ) bevestigd, in eenen waterdigten bak bewegende, om niet door het nat worden te bederven; dit rad vat bij de windmolens wederom in den onder-bonkelaar of schijfloop *K*, verbonden aan een verticale as *KL*, *staande spil* genoemd. Aan het boveneinde der staande spil vat de *boven bonkelaar* *NN'* in het bovenwiel *O* van de bovenas, die hare beweging van de molenwieken ontvangt.

§ 256. In lateren tijd heeft men het onderwiel vervangen door een' ijzeren getanden krans, het scheprad omvattende (Fig 66), draaijende in eene sleuf in den opleider aangebragt. In dit rad vat een schijfloop, door den onder-bonkelaar rondgevoerd.

Door deze laatste inrigting heeft men het voordeel, om den waterdigten bak, waarin anders het onderwiel moet draaijen, te vermijden, alsmede het onderwiel zelf, waarvoor alleen de getande krans om het scheprad in plaats komt; de staande spil wordt ook merkelijk korter. Daarenboven werkt de kracht of drukking door den onderschijfloop overgebragt, juist in het vlak door het zwaartepunt van het scheprad, en dus in het vlak waarin het gewigt der opgebragte watermassa werkt; er ontstaat dan geene wringing. Het schijnt evenwel nog al moeijelijk om het scheprad tot het weêrstaan der werking van den krans de vereischte stevigheid te geven.

§ 257. Telkens bij het treffen van eene schoep in het benedenwater, heeft er eene botsing van die schoep op het water plaats, waardoor een gedeelte arbeid verloren gaat; het water verlaat de schoepen mede met eene zeer aanmerkelijke snelheid, hetgeen ook verlies aan arbeid veroorzaakt, terwijl eindelijk eene derde bron van verlies is de onvolkomen sluiting van de schoepen in de krimp, die altijd eenig water laat terugvloeijen, nadat het reeds

p zekere hoogte is gebragt. Het is moeijelijk, uit gebrek aan pzettelijke proeven, de verliezen na te gaan, door elk dezer drie orzaken voortgebragt; alleen kan men opmaken, dat hoe grooter de nelheid van het rad is, des te grooter ook het verlies aan arbeid s uit de botsing der schoepen op het benedenwater, alsmede uit le snelheid waarmede het water de schoepen verlaat. Het verlies loor de onvolmaakte sluiting in de krimp, daarentegen, vermin-lert bij groote snelheden: want door de speelruimte van het rad n de krimp, kan slechts eene bepaalde hoeveelheid water in lenzelfden tijd terugloopen, welke ook de snelheid van het rad ij, en, daar bij grootere snelheid, in denzelfden tijd meer water wordt opgevoerd, is het betrekkelijk verlies geringer, terwijl daarenboven het snel opgevoerde water een gedeelte van het door le speelruimte terugvloeijende, door aankleving medesleept. Door het scheprad zijdelings met planken te bekleeden en alzoo het wa-ter alleen van achteren toegang tot de schoepen te geven, heeft men het verlies door de speelruimte met goed gevolg verminderd (1), vooral als men meester is om de snelheid van het rad naar goed-vinden te regelen, zooals het geval is, wanneer het rad door stoom of door elke andere standvastige beweegkracht wordt be-wogen; doch waarop men bij windmolens in het geheel niet re-kenen kan. Bij zeer kleine snelheden kan er door de speelruimte even zooveel water verloren gaan, als er door de schoepen wordt opgenomen, zoodat de molen, hoewel draaijende, echter geen water opbrengt.

Naarmate het achter- of benedenwater hooger staat, stooten de schoepen vlakker of nader aan de horizontale rigting op het water; alsdan is het verlies aan arbeid bij de botsing grooter.

Dit gebrek heeft men gedeeltelijk verholpen aan een scheprad nabij Parijs, te St. Ouen, alwaar men het rad, door eene naauw sluitende houten afscheiding, van het achterwater afgezonderd heeft, zooals in Fig. 67 is te zien. Eene schuif door raderwerk bewogen, geeft beneden toegang aan het water tot het rad; dit water op de schoepen stootende met eene snelheid, behoorende tot de drukhoogte van het achterwater tegen de schuif, vergoedt daardoor gedeeltelijk het verlies door de hoogere opbrengst ver-

(1) *Natuurkundige Bijdragen*, IV, p. 1.

oorzaakt; moetende nu de hoogte van opbrengst gerekend uit het middelpunt der schuifopening, tot op het bovenpe

§ 258. Indien men het verlies aan arbeid door de hi opgenoemde oorzaken, voor verschillende snelheden kon op dan zou men daaruit de voordeeligste snelheid afleiden, het verlies aan arbeid, in vergelijking van den geleverde minimum was. Uit die voordeeligste snelheid, en die waa beweegkracht aan de wieken of aan de stoomwerktuigen, raderen enz., het voordeeligst werkt, zou men dan de betrek snelheid van de bewegende kracht tot die van den last, het minste verlies plaats had, kunnen berekenen. Voor kan dit, uit hoofde van gemis aan daartoe strekkende waarnem met geene juistheid geschieden. Tot nu toe wordt ook het rendeel der schepraderen door den wind bewogen, waarv snelheid zeer afwisselend is; al kon men dus bij de windm voor eenige bepaalde snelheid van wind, de voordeeligste b king tusschen de snelheid van de wieken en die van het sc bepalen, dan zou toch die betrekking wederom geheel ande bij veranderde snelheid van den wind. Doch daar de be kracht van den wind niets kost, is het verloren gaan va gedeelte dier kracht, in sommige gevallen, dan ook van belang. Hoofdzakelijk dient men te zorgen om, bij geringe heid van wind, nog arbeid van het scheprad te verkrijgen, die geringe snelheden de heerschende zijn, en er juist t droogmalen van landerijen, in die omstandigheden, de mees hoefte bestaat.

Volgens eene ruwe schatting der windsterkte, zou er, uit nemingen gedurende tien jaren voortgezet, gemiddeld in ee gerekend kunnen worden op:

6	dagen	van	volkomen stilte.
214	»	»	slappe winden.
118	»	»	middelbare winden.
27 1/3	»	»	sterke winden (1).

§ 259. In de gewone schepradmolens is de betrekkelijke snelheid van de roeden tot die van het scheprad, begrepe

(1) Eckhardt, *Verzameling van stukken betrekkelijk de staande en scheprad-molens*, pag. 83.

chen 1 : 0,70 en 1 : 0,4; zoodat voor ééne omwenteling der wieken, het scheprad 0,7 tot 0,4 omwenteling verrigt, of dat voor ééne omwenteling van het scheprad, de wieken 1,4 à 2,2 maal rondgaan.

Indien men geen verlies van water door de speelruimte van het rad aanneemt, dan wordt, bij eenen regelmatigen gang, telkens wanneer het rad eenen boog gelijk aan den afstand der schoepen doorloopen heeft, eene hoeveelheid water geloosd, gelijk aan de hoeveelheid tusschen twee schoepen bevat; en daar gelijktijdig tusschen al de schoepen niet evenveel water is begrepen, moet men voor die hoeveelheid de grootste nemen bij eenigen stand der schoepen daartusschen bevat, dewijl wij aannemen dat er gedurende de beweging niets verloren gaat. Heeft het rad dan eene geheele omwenteling volbragt, dan is de geloosde hoeveelheid water, gelijk aan de hoeveelheid door het geheele rad gedragen, indien al de schoepen evenzoo belast waren als de meestbelaste. Deze meestbelaste schoep is die verticaal in het achterwater staande; stelt men dan de gemiddelde breedte der schoepen b, den straal van het rad r, en d de diepte waarin de verticale schoep in het achterwater tast, dan is de theoretische hoeveelheid opgebragt water in ééne omwenteling $2\pi(r-\frac{1}{2}d)db$; waarvan nog moet afgetrokken worden de ruimte door de schoepen zelven ingenomen, alsmede het waterverlies door de speelruimte. De hier aangewezen hoeveelheid wordt ook wel de inhoud van den *waterkrul* des scheprads genoemd.

De proeven met het staand scheprad genomen, geven zeer ongelijke uitkomsten voor de opgebragte hoeveelheid water in elke omwenteling; hoofdzakelijk is dit toe te schrijven aan de belemmering die het water ondervindt om tusschen de schoepen in te vloeijen, wanneer het rad met eenige snelheid ronddraait.

§ 260. Het is niet wel mogelijk den arbeid op te geven dien men bij het scheprad door middel van den wind verkrijgen kan, naardien de wind niet alleen ongestadig is, maar er ook zeer veel moeijelijkheid bestaat om de snelheid van den wind naauwkeurig waar te nemen; hieromtrent is reeds in § 58 een en ander bijgebragt. In 1775 en 1776 heeft men in de Bleiswijksche Droogmakerij naauwkeurige proeven over de uitwerking der schepradmolens genomen, en daarbij de snelheid van den wind door middel van den windmeter van Poleni trachten waar te nemen; doch

het onvoldoende dier waarnemingen is toen duidelijk gebleken, dewijl de molens zeer dikwijls sneller rondgingen bij geringe windkrachten, door den windmeter aangewezen, dan bij grootere, en er althans hoegenaamd geene overeenkomst te vinden is tusschen de aanwijzingen van den windmeter en de snelheid der molens, die echter gelijktijdig met de aanwijzingen van den windmeter moesten aanwassen of verminderen, indien de windmeter werkelijk de snelheid van den wind deed kennen. Men heeft zich alstoen vergenoegd met slechts bij elke proef, die één à drie uren duurde, eenige weinige waarnemingen op den windmeter te doen; doch daar de wind nooit met gelijke snelheid, maar gestadig afwisselend werkt, is hieraan waarschijnlijk die weinige overeenkomst toe te schrijven.

Doch al kende men eenigzins naauwkeurig de snelheid van den wind op elk oogenblik, en den daardoor voortgebragten arbeid op het scheprad, dan zou men nog moeijelijk de uitwerking van eenen windmolen gedurende zekeren tijd kunnen opmaken, wegens de groote afwisseling van windsnelheid. Wij zullen ons dus vergenoegen met eenige opgaven, betrekkelijk het vermogen der schepraderen in verschillende omstandigheden, voor zooveel men die uit de bekende waarnemingen kan afleiden.

Bij de aangehaalde proeven te Bleiswijk, heeft de staande scheprадmolen, genaamd de *Bergmolen*, den grootsten arbeid verrigt op den 24 Junij 1777 bij de proef n°. 111 (1); alstoen was het product van de hoeveelheid opgebragte tonnen water, in de minuut, met de hoogte van opmaling in Rijnlandsche duimen 29874,9, hetwelk, daar een ton water gelijk is aan 5,25 cubiek voet Rijnlandsche maat, overeenkomt met een' arbeid van 127 000 ponden op 1 el, of met den arbeid van 28,13 paardenkrachten; alstoen ging de molen met eene snelheid van 79,07 enden of van 19,77 omwentelingen in de minuut. Volgens diezelfde proeven kan men gemiddeld rekenen, dat met de sterkste gelijkmatige winden en in de voordeeligste omstandigheden van opmaling, de molens te Bleiswijk gemiddeld 25 500 ton op 1 duim in de minuut opbragten, hetgeen overeenkomt met 108 380 pond op 1 el, of met 24,08 paardenkracht. Met gelijkmatig sterke winden komt de

(1) Tafels van Douwes. La. G., bij Eckhardt, *Verzameling* enz.

beid gemiddeld op 16 000 ton op 1 duim, of op 68 002 pond op el, en dus op 15,12 paardenkracht. Bij slappe winden is de beid moeijelijk te berekenen, doordien het bezwaarlijk wordt te epalen, waar eigenlijk de grens tusschen windstilte en slappe ind gelegen is, te meer daar er al een vrij merkbare wind noodig , om een' grooten watermolen eenigen arbeid te doen verrigen. Uit deze opgaven is niet wel met eenige zekerheid tot den emiddelden jaarlijkschen arbeid der molens te besluiten, omdat men daarenboven nog met eenige naauwkeurigheid diende te weten, gedurende welken tijd men in een jaar, op zeer sterke, sterke en slappe winden rekenen kan.

In de maand Mei 1818 heeft men gedurende 29 dagen aan den Kortenoord, nabij Gouda, eenen schepradmolen van de beste constructie doen werken, telkens gedurende een à twee uren, meestal tweemaal daags, en den voortgebragten arbeid waargenomen; tevens zijn daarbij, door middel van eenen pasganger, de omwentelingen of liever de enden geteld, welke zekere nabijzijnde molen, de Groenenwegsche genaamd, voortbragt. In de 101 uur en 8 minuten, waarin die proeven plaats hadden, werd de molen in gang gesteld, hetzij de wind al dan niet sterk genoeg was om arbeid voort te brengen; in genoemden tijd leverde die molen een' arbeid van 115 680 000 ponden op 1 el, hetgeen overeenkomt met 19 087 pond op 1 el in de minuut, en dus met den arbeid van 4,242 paardenkracht. Neemt men aan, dat de sterkte van den wind in de maand Mei niet veel afwijkt van de middelbare windkracht in het geheele jaar, dan zou men het werk van de grootste soort van schepradmolens, kunnen gelijkstellen met dat van een werktuig gestadig met $4^1/_4$ paardenkracht werkende. In 101 uur 8 minuten zijn er 57 uren geweest dat er wegens de windstilte of te zwakken wind, geen arbeid werd verrigt. Gedurende 24 uren 51 minuten waaide er slappe wind, leverende in dien tijd de Groenenwegsche molen nog geen 3500 enden in het uur of 58,3 enden per minuut; bij dezen slappen wind was de gemiddelde opbrengst 16 606 pond op 1 el, gelijkstaande met 3,71 paardenkracht. Ofschoon dan bij sterke winden het werk van eenen schepradmolen tot op 28 paardenkrachten klimmen kan, is de gemiddelde arbeid op niet veel meer dan 4 of 5 paardenkrachten te stellen.

Volgens waarnemingen aan den Zuidplas, van April 1836 tot Sep-

tember 1838, gedurende 28½ maand, heeft men voor de jaarlijksche opbrengst van eenen molen gevonden 6 076 651 cubiek el water op 1 el hoogte, of 11,56 cub. el in de minuut, overeenkomende met 2,57 paardenkracht.

§ 261. Het aanmerkelijk verschil tusschen de grootste uitwerking van het scheprad en zijn jaarlijksch gemiddelde, is hoofdzakelijk toe te schrijven aan het onvermogen van zwakke winden, om aan zulke zware werktuigen eenigen arbeid te doen verrigten. Men heeft getracht dit gebrek te verhelpen, door het aanbrengen van twee of drie schepraderen van dezelfde middellijn, doch van ongelijke breedte, zoodat het smalste nog door zwakke winden, en de overige met sterkere winden konden rondgaan; terwijl van het vermogen der sterkste winden kon worden gebruik gemaakt, door twee of drie der raderen te gelijk te doen werken. De schepraderen worden dan in afgezonderde krimpen evenwijdig aan elkander geplaatst, met de assen in elkanders verlengde, ieder voorzien van een ijzer getand rad, zooals in Fig. 66; op eene tweede as zijn zooveel rondsels of schijfloopen geplaatst als er schepraderen zijn, die op eene der wijzen in § 234 en volgende verklaard, naar goedvinden aan de as verbonden of daarvan vrij gemaakt worden.

Het ontbreekt aan vergelijkende proeven, waaruit het juiste voordeel dezer inrigting boven de gewone kan worden gezien, doch het lijdt geen twijfel of de opbrengst dezer molens moet die der gewone aanzienlijk overtreffen.

§ 262. Men heeft nog op eene andere wijs getracht van de slappe winden gebruik te maken, zonder het getal schepraderen te vermeerderen. Daartoe wordt dan in de krimp, hetzij in den opleider, of zijwaarts even boven het achterwater, eene schuif of klep aangebragt, die men naar willekeur geheel of gedeeltelijk kan openen. Hierdoor wordt dan een gedeelte van het opgebragte water onmiddellijk weder afgelaten en de arbeid van den molen verminderd, zoodat er bij slappe winden nog slechts zooveel water op de schoepen blijft, als door de beweegkracht kan worden opgevoerd. Dit middel, hoewel zeer eenvoudig, heeft het nadeel dat het groote scheprad bij het ronddraaijen altijd een aanmerkelijken tegenstand door het achterwater ondervindt, hetgeen bij de kleine schepraderen minder het geval is. Een an-

r middel bestaat in het tijdelijk plaatsen van hooge blokken op schoepen, die de waterruimte verminderen (1).

§ 263. Men heeft in lateren tijd ook schepraderen door middel an stoom bewogen; waardoor men het voordeel verkrijgt van n allen tijde te kunnen werken, hetgeen bij de windmolens p verre na het geval niet is; er zijn te weinig proeven over en arbeid dezer werktuigen bekend, dan dat iets met zekerheid an vastgesteld worden, omtrent de voordeeligste wijze om een cheprad door stoom te bewegen.

Doch daar men de stoomkracht, om zoo te spreken, zoo groot an nemen als men goedvindt, door de middellijn des stoomcinders te vergrooten, zoo kan men ook grootere schepraderen door stoom doen bewegen dan bij windmolens, alwaar men door de grootte der wieken bepaald is. Nabij Parijs, in de haven van St.-Ouen, heeft men een scheprad (Fig. 67) van 10,6 el middellijn aangebragt, waarmede het water uit de Seine tot op 4,1 el gebragt wordt (2). Dit rad, waarvan de schoepen 1,825 el lang en 1,210 el breed zijn, wordt door een stoomwerktuig van lage drukking van 40 paardenkracht bewogen. Bij eene waarneming bragt dit rad het water 4,1 el hoog en vulde in 33 uren eene kom van 55 000 vierkante ellen oppervlakte, ter hoogte van 1,58 el, verbrandde daarbij 100 mud steenkolen, waaronder 8 mud tot het aanmaken en in gang brengen. Dit geeft, zoo men het mud kolen op 70 pond stelt, 55 320 pond, op 1 el hoog door 1 pond steenkolen; alsmede een' arbeid van 180 950 in de minuut, en daar een paard 4500 in de minuut geeft, en 40 paarden 180 000, zoo komt de hoeveelheid geleverde arbeid zeer wel overeen. Bij eene andere waarneming, alwaar het water 3,65 el hoog werd gebragt, vulde het rad dezelfde kom in 9 uren ter hoogte van 0,52 el; verbruikende daarbij 39 mud kolen, waaronder 8 voor het in gang brengen; rekent men dan 31 mud à 70 pond, dan geeft dit 56 122 pond op 1 el voor één pond steenkolen en 193 331 arbeid in de minuut. Het werktuig deed 18 zuigerslagen in de minuut en het rad drie omgangen in dien tijd.

---

(1) *Tijdschrift voor Wis- en Natuurkundige Wetenschappen uitgegeven door het K. Ned. Instituut.* III, 276.

(2) Le Blanc. *Recueil de machines etc.* pl. 7 et 8. — Armengaud, *Publication industrielle.* 1, 139.

De werktuigen in § 146 aangehaald, bragten 123 300 000 ponden op 1 voet (Engelsche maat) met 93 pond steenkolen, makende 404 100 pond op 1 el met 1 pond steenkolen, zijnde aanzienlijk meer dan de hiervoren opgegeven hoeveelheden; doch aldaar werkte de stoom met uitzetting.

HELLEND SCHEPRAD.

§ 264. Omstreeks den jare 1770 is door de gebroeders A. G. en F. F. Eckhardt voorgesteld, de schepraderen niet verticaal, maar hellend te plaatsen, zooals in Fig. 68 wordt voorgesteld; de schoepen bewegen zich in eene cirkelvormige goot of opleider *CD* (Fig. 68^b), zoo sluitend mogelijk, en voeren het water alzoo langs een hellend vlak naarboven, alwaar het, even als bij het staande scheprad, bij genoegzamen toevoer, de wachtdeur bij *E* (Fig. 68^a) opent en alzoo wegvloeit. Bij deze inrigting heeft men het voordeel eener minder regtstreeksche botsing der schoepen in het achterwater, alsmede eene betere rigting der snelheid van het opgevoerde water, dewijl die snelheid nagenoeg in de rigting der afvloeijing werkt, alzoo de wachtdeur eerder opent; men trekt dan meerder voordeel van die snelheid. Ook kan men als eenig voordeel beschouwen de mindere wrijving van de wateras, dan bij het staande rad; omdat die bij het hellend rad aan den omtrek van dunnere ijzeren tappen of *taatsen* plaats heeft; evenwel zou dit voordeel door verbeterde inrigting aan de staande raderen te geven zijn. Men kan nog als een voordeel der hellende schepraderen beschouwen, de meerdere hoogte waartoe het water, bij gelijke middellijnen der raderen, kan gebragt worden; omdat in vele gevallen waarin de schepradmolens gebruikt worden, het water een weinig hooger moet gebragt worden, dan waartoe de grootste staande schepradmolens in staat zijn, zoodat men alsdan verpligt is twee staande schepradmolens boven elkander te plaatsen, terwijl men door een hellend rad deze hoogte nog bereiken kan. Evenwel zou men zeer wel grootere staande schepraderen kunnen gebruiken, zooals uit het voorbeeld, in § 263 aangehaald, blijkt.

§ 265. Ter vergelijking van de uitwerking der staande en hellende schepradmolens, zijn in 1775 en 1776, op hoog gezag naauwkeurige proeven genomen met twee staande schepraden tegen

vee hellende; men bragt die molens gelijktijdig en evenlang, bij erschillende gelegenheden van waterhoogte, wind enz., in beweging en liet ieder uit eenen te voren afgeperkten boezem water opengen. Wij hebben reeds in § 58 en 260 van die proeven gevaagd. Er was zooveel mogelijk gezorgd dat de molenwieken der egen elkander beproefd wordende molens, gelijke lengte en opervlakte hadden. De proeven, voortgezet van October 1775 tot unij 1776, gaven de volgende uitkomsten: bij gelijkmatig sterke vinden stond de arbeid van het staand scheprad des Binnenwegchen molens, tot dien van het hellend rad in den molen n°. 2 als 000 : 1066, en bij de sterke gelijkmatige winden als 1000 : 1113; et staand scheprad in den bergmolen tot het hellend in n°. 8, bij gelijkmatig sterke winden, als 1000 : 1180, en bij de sterkste gelijkmatige winden als 1000 : 1175, zijnde de molens overigens in den gewonen stand betrekkelijk het achterwater, dus met geen meer water bezwaard dan gewoonlijk plaats heeft. Het voordeel der hellende schepraden in die gewone gevallen blijkt alzoo niet zeer aanmerkelijk te zijn. Van het voordeel der hellende raderen bij zeer slappe en bij middelmatige winden, kan men bij deze proeven niet wel oordeelen, daar zij alleen genomen zijn bij gunstige gelegenheden. Doch hieromtrent kunnen de proeven in 1818 aan den Kortenoord, in § 260 aangehaald, beter dienen, hebbende men alstoen beurtelings een staand en hellend scheprad in beweging gesteld op vooraf bepaalde tijdstippen, hetzij er al of niet gunstige winden waaiden. Zooals wij dan reeds in § 260 hebben opgegeven, heeft het staande rad in 101 uren 8 minuten, gemiddeld het werk van 4,242 paarden verrigt, terwijl het hellend rad in dien tijd een' arbeid geleverd heeft, gelijkstaande met 4,256 paardenkrachten. Gedurende dien tijd heeft het staande rad wegens gebrek aan wind 57 uren moeten stilstaan, en het hellend rad slechts 29½ uur, terwijl in de 27½ uur waarin het hellend rad werkte, zonder dat het staande iets opbragt, gemiddeld een arbeid geleverd is van nagenoeg 7 paardenkrachten. Eveneel merke men op, dat het hellend rad met eene schuif in den leider voorzien was, waardoor de last op het rad bij slappe winverligt werd; zulk eene schuif bestond niet bij het staande rad, dat, daar men die schuif als een voornaam deel der uitvinding in het hellend rad beschouwde, zij niet aan het staande mogt orden toegevoegd. Doch hoewel dit allezins billijk was bij het

beoordeelen der waarde van die destijds nieuwe uitvinding, zoo kan men, wanneer het alleen op het beoordeelen der betrekkelijke waarde tusschen het hellende en staande rad aankomt, die wijziging niet meer alleen voor het ééne rad in rekening brengen. Er zouden dus hieromtrent nadere proeven, waar eene schuif bij beide molens werd gebruikt, dienen genomen te worden, om over het voordeel van den hellenden stand der schepraderen met juistheid te kunnen oordeelen. De meeste arbeid met een' hellenden schepradmolen werd gevonden in 1776, bij de proef n°. 71 van den molen n°. 8; alsdan bragt die molen een' arbeid voort van 165 000 pond op 1 el in de minuut, gelijkstaande met 36,6 paardenkracht, terwijl men, zooals hiervoren uit de proeven van den Kortenoord is afgeleid, het gemiddelde werk van zulk eenen molen slechts op 6,26 paardenkracht kan stellen.

De inrigting der hellende schepradmolens is, behalve het rad zelf, gelijk aan die der staande schepradmolens. De molens te Bleiswijk met hellende schepraderen maakten 2,2 à 2,3 omwenteling der wieken voor ééne omwenteling van het rad, en die aan den Kortenoord mede 2,3 omwenteling der wieken op ééne van het rad. De helling van het rad der molens n°. 2 te Bleiswijk was 25° 4′ met den horizont, bij den molen aan den Kortenoord 25 à 26°. Meer bijzonderheden omtrent de hier aangehaalde proeven vindt men in de *Verzameling van stukken betrekkelijk het staand en hellend scheprad* (1).

§ 266. Men heeft in Engeland hellende schepraderen door stoom gedreven. Volgens het medegedeelde door den Hoogleeraar Moll (2), bestaat er een te Upwear, bij Ely in Lincolnshire, waarvan het hellend scheprad 8,33 el middellijn heeft; de schoepen zijn lang 1,523 breed 0,406 el; het rad doet 5,196 omwentelingen in de minuut, brengt het water op 1,674 el hoogte, en wordt gedreven door een stoomwerktuig van 24 paarden, dat met $\frac{1}{6}$ van zijn vermogen 1938,8 ton water op 1 voet hoog in de minuut brengt, hetgeen overeenkomt met 98 883 pond op 1 el, en dus met 22,02 paardenkracht; hierbij $\frac{1}{7}$ gevoegd, heeft men voor het

(1) Amsterdam, 1822.
(2) *Konst- en Letterbode* 1823. N°. 33 en 34.

e werktuig 25,14 paarden, hetgeen dus vrij wel met de op-
overeenstemt.

VIJZELMOLENS.

§ 267. Tot het opmalen van het overtollige water uit lage lan-
, wordt veel gebruik gemaakt van de zoogenaamde vijzelmolens.
die molens wordt het water geheven door een houten schroef-
k aan eene spil bevestigd, draaijende zoo naauwkeurig mogelijk
eene gemetselde kom. Meestal zijn er op de spil drie zulke
roefvlakken, op gelijke afstanden aangebragt, om eene meer ge-
matige uitstrooming van water te verkrijgen. Het is gemak-
lijk in te zien dat, als de helling van de spil op den horizont
iner is dan de helling van het schroefvlak op de spil, zooals
Fig. 69 is voorgesteld, het water langs die helling zal afglij-
, tot dat het 't laagste punt zal bereikt hebben. Draait nu
spil met het schroefvlak van C naar A, dan zal het opvolgend
nt c in de plaats van het punt C komen, en alzoo het laagste
rden, zoodat de watermassa die uit C naar A zou gevoerd
rden, indien zij de beweging van het vlak volgde, terugstroomt
in c komt; doch daarbij wordt dan ook die watermassa langs
vlak van C naar c gebragt. Het water doorloopt op dezelfde
s, bij het verder ronddraaijen, het geheele schroefvlak, indien
namelijk tusschen de schroefgangen niet kan wegvloeijen, zoo-
werkelijk bij den vijzelmolen, door de kom waarin de vijzel
ait, geschiedt; het water bereikt alzoo eindelijk de hoogte van
bovenpeil of bovenwater, alwaar het zich ontlast. Gewoonlijk
rdt de kom CD iets lager dan de middelbare stand van het
venwater EH opgetrokken en het water tusschen de zijmuren,
het verlengde van de kom uitmaken, opgehouden, tot dat het,
enals bij de schepraderen, hoog genoeg oprijst om de wacht-
ur H in den bovenwaterloop te openen.

Op het verlengde der spil is een getand rad GF, het *vijzelrad*
noemd, verbonden, hetwelk bij de windmolens door den onder-
hijfloop KG van de staande spil wordt rondgevoerd; aan het
veneind dezer spil is verder de bovenschijfloop, die door het-
lfde zamenstel als bij de schepradmolens, met de wieken in
rband is gebragt. Wordt de vijzel door stoomkracht bewogen,
) kan men het getande vijzelrad doen vatten in een dergelijk

beoordeelen der waarde van die destijds nieuwe uitvindi
ren kan men, wanneer het alleen op het beoordeelen der
trekkelijke waarde tusschen het hellende en staande rad a
komt, die wijziging niet meer alleen voor het ééne rad
rekening brengen. Er zouden dus hieromtrent nadere proev
waar eene schuif bij beide molens werd gebruikt, dienen
namen te worden, om over het voordeel van den hellen
stand der schepraderen met juistheid te kunnen oordeelen.
meeste arbeid met een' hellenden schepradmolen werd gev
den in 1776, bij de proef n°. 71 van den molen n°. 8; alst
brengt die molen een' arbeid voort van 165 000 pond op 1 el
de minuut, gelijkstaande met 36,6 paardenkracht, terwijl m
zoals hiervoren uit de proeven van den Kortenoord is afgel
het gemiddelde werk van zulk eenen molen slechts op 6,26 pa
denkracht kan stellen.

De inrigting der hellende schepradmolens is, behalve het
zelf, gelijk aan die der staande schepradmolens. De molens
Bleiswijk met hellende schepraderen maakten 2,2 à 2,3 omw
teling der wieken voor ééne omwenteling van het rad, en
aan den Kortenoord mede 2,3 omwenteling der wieken op
van het rad. De helling van het rad der molens n°. 2 te Bl
wijk was 25° 4' met den horizont, bij den molen aan den K
tenoord 25 à 26°. Meer bijzonderheden omtrent de hier aa
haalde proeven vindt men in de *Verzameling van stukken betrekk*
het staand en hellend schepraad (1).

§ 266. Men heeft in Engeland hellende schepraderen door st
gedreven. Volgens het medegedeelde door den Hoogleeraar Mo
bestaat er een te Upwear, bij Ely in Lincolnshire, waar
het hellend schepraad 8,33 el middellijn heeft; de schoepen
tang 1,523 breed 0,406 el; het rad doet 5,196 omwentelin
in de minuut, brengt het water op 1,674 el hoogte, en
gedreven door een stoomwerktuig van 24 paarden
zijn vermogen 1938,8 ton water op 1
brengt, hetgeen overeenkomt
met 22,02 paardenkracht.

(1) Amsterdam, 1822
(2) Kruis en Zeilen

rad op de as van het stoomwerktuig verbonden, en alzoo de ronddraaijende beweging van den vijzel doen plaats hebben.

§ 268. Evenals bij de schepraderen, heeft er door de speelruimte tusschen de vijzel en de kom, verlies van water plaats, zoodat bij zeer langzame beweging, al het opgebragte water weder kan terugloopen. Deze zwarigheid zou men kunnen ontwijken door de vijzel zijdelings te bekleeden, en haar alzoo in een ton of cilinder te vatten, waardoor het water alleen van onderen opgenomen en bovenwaarts geloosd werd; alsdan verandert de vijzel in den zoogenoemden tonmolen, die hier te lande bij het uitmalen van funderingsputten zeer menigvuldig gebruikt wordt. Men heeft echter bij het uitmalen van polders en plassen, meestal de vijzel boven den tonmolen verkozen, omdat, wanneer het benedenwater zooveel rijst dat daardoor de benedenopening van den tonmolen geheel onder water komt, de onderste schroefgangen geheel vol water geraken; maar daar dit bij de volgende gangen, die boven het benedenwater uitkomen, het geval niet meer zijn kan, dringt aldaar de dampkringslucht naar binnen. Deze instrooming van lucht, die alleen door de bovenopening kan plaats hebben, belemmert de geregelde uitstrooming van het water, doet onregelmatige bewegingen tusschen de schroefgangen ontstaan, en brengt daardoor verlies aan kracht voort. Dewijl nu meestal het benedenwater aan merkelijke rijzingen en dalingen is onderworpen, zoo zou een tonmolen somtijds òf in het geheel geen water scheppen, òf door te diep in het water te tasten, een merkelijk verlies aan arbeid veroorzaken. Indien echter in bijzondere gevallen de benedenwaterspiegel weinig verandering onderging, of dat men den tonmolen gemakkelijk met zijn ondereinde op de vereischte hoogte kon stellen, dan zou de tonmolen voorzeker boven de vijzel te verkiezen zijn. Evenwel is bij eene naauwkeurige bewerking het verlies door de speelruimte niet zeer groot, om dezelfde redenen als bij de schepraderen in § 257 aangevoerd.

§ 269. De vijzel heeft boven de schepraderen het voordeel van bijna in het geheel geen botsingen bij het opnemen van het benedenwater te veroorzaken, dewijl slechts de scherpe kant der draden het water treft; alleen heeft men eenig verlies bij het uitstroomen, dewijl het water aldaar de medegedeelde snelheid van de vijzel bezit, die genoegzaam geheel verloren gaat. Hoe kleiner alzoo de snelheid is waarmede de vijzel omwentelt, des

geringer zal dit verlies zijn; doch daarentegen verliest men iederom meer water door de speelruimte. Hierin bestaat het voordeel van den tonmolen, die zonder waterverlies zeer langzaam bewegen kan. Het zal dus bij de tonmolens voordeelig wezen, de afmetingen van de ton zeer groot en de snelheid gering te nemen. Een nadeel der tonmolens is daarentegen, dat het opgevoerde water geheel door de ton zelve gedragen wordt, hetwelk, daar de watermassa zeer aanzienlijk is, eene vrij groote wrijving op de tappen veroorzaakt; terwijl bij de vijzel een groot gedeelte van de watermassa op de vaste kom rust, en dan in zooverre alleen eenige wrijving veroorzaakt, als het water langs de oppervlakte van de kom eenigen tegenstand ontmoet.

Behalve de besparing in arbeid van de vijzel boven de schepraderen, kan de vijzel ook eene vrij aanzienlijke lengte verkrijgen, en daardoor het water op eene grootere hoogte brengen dan de schepraderen; kunnende men met een vijzel het water zeer wel 3 à 3,50 el opbrengen, terwijl men bij windmolens twee schepradmolens voor zulk eene hoogte gebruikt.

§ 270. De vijzels worden hier te lande meestal geplaatst onder eenen hoek van 30°, hebben eene middellijn van 1,60 tot 1,90 el en eenen spoed, of hoogte van schroefgang, van 1,50 à 1,90 el. Zoolang de vijzels door windmolens, en dus met eene beweegkracht gedreven worden die in vermogen zeer veel toe- en afneemt, zal het zeer moeijelijk zijn, anders dan door menigvuldige proeven, de voordeeligste afmetingen en stelling der vijzels op te maken. Worden zij door eene regelmatige beweegkracht, zooals door den stoom, gedreven, dan is men meester om de snelheid van den toestel naar goedvinden te regelen, en daaruit de voordeeligste afmeting en stelling af te leiden. Tot het droogmalen van den Zuidplas, tusschen Rotterdam en Gouda, zijn vijzels gebruikt door stoom gedreven; de vijzels waren in middellijn 1,65 el, de spoed was 1,50, de middellijn der spil 0,50 el en de helling 30°.

Somtijds worden de vijzels bovenwaarts iets naauwer of smaller gemaakt dan beneden; de speelruimte altijd eenig waterverlies veroorzakende, zoo kan de inhoud der bovenste gangen wel iets kleiner dan de onderste zijn; men heeft hierdoor het zeer geringe voordeel van eenige verligting van gewigt en dus van iets minder wrijving op de spillen of taatsen en aan de halzen.

In de windvijzelmolens der Zevenhovensche droogmakerij, gaat

de vijzel ééns rond voor 0,356 maal de wieken, of voor é
wenteling der wieken gaat de vijzel 2,81 maal rond.
stoomvijzelmolen aan den Zuidplas, gaat de vijzel 2,4 ma
voor elke heen- en weêrgang van den stoomzuiger, en
40 à 50 omwentelingen in de minuut.

§ 271. Om de watermassa te vinden, die door een vij
gegeven afmeting en helling, bij elke omwenteling wordt
stort, zal men den inhoud moeten berekenen van het me
gevuld gedeelte van eenen schroefgang, dewijl bij elke
omwenteling zulk een gedeelte geheel in den volgenden ga
lost, en alzoo ook aan het boveneind van de vijzel uitsto

Laat tot het berekenen van dezen inhoud (Fig. 70ª) *a*
de verticale projectie van een gedeelte van eenen schroef- o
gang voorstellen, zijnde *ad* de middellijn der spil; zij *wt*
gang van een waterpasvlak loodregt op het vlak der figuur,
hoek *tcC* de helling der spil op den horizont zij. Is nu *tu*
de raaklijn aan de schroeflijn *atb* op de spil, dan zal de
gang *ELGF* alleen beneden de lijn *tw* met water gevuld
dewijl al het water boven *tw* over de spil bij *t* naar *a*
rugvloeijen; het water beneden *tw* blijft tegen de schroefv
de spil en het cilindervlak, waarop de schroeflijnen *GF*
beschreven zijn, besloten, welk cilindervlak de plaats d
inneemt; onderstellende wij hier volstrekt geene speelruim

Het bepalen van den juisten inhoud van het met wa
vulde gedeelte *twuGLIt*, volgens de gewone wijze, door d
houd in differentialen te verdeelen, geeft aanleiding tot z
slagtige berekeningen Wij zullen daarom eerst verkla
benaderde rekenwijze van Eytelwein, en daarna eene mee
meene en naauwkeurige berekening opgeven.

§ 272. Men kan zich de binnenruimte, tusschen de sp
buitencilinder en de twee schroefvlakken, voorstellen als
gebragt door de beweging van eenen regthoek *hFEa*, altij
blijvende door de as *Cc*, en wiens middelpunt *K* altijd
de schroeflijn *ksl*, die denzelfden spoed heeft als de schr
GF en *EL*; deze schroeflijn geprojecteerd op een vlak
op de as, is een cirkel *K's'N'*, beschreven met den stra
zijnde *K'* in het midden tusschen *a'* en *E'* gelegen. Deze
lijn kan men de middelbare of centrale schroeflijn noem
inhoud van eenig gedeelte van den schroefgang, begrepen t

wee standen van den regthoek $aEFh$ en Lg bijvoorbeeld, is gelijk aan den inhoud van dien regthoek vermenigvuldigd met het gedeelte $K's'N'$ van de projectie KsN der centrale schroeflijn, tusschen die standen begrepen; dewijl die inhoud, bij eenen geheelen omgang, blijkbaar gelijk is aan den regthoek vermenigvuldigd met den geheelen cirkelomtrek $K's'N'l'K'$ (1).

Voor den inhoud van een gedeelte des schroefgangs, door een plat vlak tw afgesneden, neemt Eytelwein, bij benadering, het product van den voortbrengenden regthoek aF met het gedeelte sl der centrale schroeflijn door dit vlak afgesneden; doch waarvoor wij hier de projectie van dit gedeelte der centrale schroeflijn zullen nemen.

Hoewel die onderstelling niet volkomen juist is, en zelfs geheel verkeerde uitkomsten geeft, wanneer het vlak tw zoodanig is gerigt dat het de lijn Kl in het geheel niet snijdt, zoo zijn echter de uitkomsten dezer onderstelling voor de gewone gevallen naauwkeurig genoeg, zooals wij met een paar voorbeelden zullen aantoonen.

Ten einde de snijpunten s en l te vinden, bepalen wij eerst de vergelijking van de regte lijn tw, die de schroeflijn atb in t raakt, alsmede de vergelijking van de schroeflijn Ksl. Zij daartoe $LB = h$, $Ca = C'a' = r$, $Cq = x$, $qQ = z$, dan is de hellingshoek α der schroeflijn atb uit de vergelijking:

$$2\pi r' \operatorname{tang} \alpha = h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

te vinden; zij verder hoek $a'C'q' = \varphi$ dan is:

$$Cq = x = r' \cos \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2),$$

alsmede: $$qQ = z = \text{boog } a'q' \times \operatorname{tang} \alpha = r' \varphi \operatorname{tang} \alpha \quad . \quad . \quad (3).$$

Door φ uit de vergelijkingen (2) en (3) te verdrijven, verkrijgt men de vergelijking der kromme atb op regthoekige coördinaten, hetgeen echter hier voor ons oogmerk niet noodig is. Zij β de helling van de as der vijzel met den horizont, dan is hoek $tcC = \beta$, en daar in het algemeen de tangens van den hoek eener

(1) Eytelwein neemt in zijne *Hydraulica* de lengte der schroeflijn KsN zelve, in plaats van hare projectie; doch dit is blijkbaar verkeerd, dewijl die lijn niet toebrengt is op de achtervolgende standen van den regthoek.

raaklijn aan atb met $cC, = \frac{\partial x}{\partial z}$ is, zoo is voor het punt t

$$\frac{\partial x}{\partial z} = -\operatorname{tang}\beta;$$

maar uit (2) hebben wij:

$$\partial x = -r' \sin\varphi \partial\varphi,$$

en uit (3): $$\partial z = -r' \operatorname{tang}\alpha \partial\varphi,$$

alzoo: $$\operatorname{tang}\beta = \sin\varphi \cot\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

waaruit nu φ en alzoo door (2) en (3) de coördinaten x en z v het raakpunt t kunnen bepaald worden. Nemende de coördina $Cn = p$ en $Cm = q$, dan is uit (2) en (4):

$$p = r' \sqrt{(1 - \operatorname{tang}^2\alpha \operatorname{tang}^2\beta)}$$

$$= r' \frac{\sqrt{\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)}}{\cos\alpha\cos\beta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

en uit (3): $$q = r' \operatorname{tang}\alpha \operatorname{boog}\sin (= \operatorname{tang}\alpha \operatorname{tang}\beta) \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

De vergelijking der lijn tw is blijkbaar:

$$z_1 - q = -(x_1 - p)\cot\beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Stelt men de hoogte van den regthoek, $= b$, alsmede $CK =$ dan is voor de vergelijking van de kromme Ksl:

$$x' = R\cos\varphi \text{ en } z' = R\varphi \operatorname{tang}\alpha' + \tfrac{1}{2}b;$$

waarin $\operatorname{tang}\alpha' = \frac{h}{2\pi R}$ is. Voor het snijpunt dezer kromme m de lijn tw moeten x' en z' gelijk zijn aan x_1 en z_1 uit (7). Do het zal gemakkelijker zijn, in plaats van de coördinaten d snijpunten, de daarmede overeenstemmende bogen φ te bepale dewijl het verschil dier bogen dan juist de lengte van den wate houdenden boog $s'N'l'$ zal doen kennen. De vergelijking (7) ver andert dan in

$$\varphi R \operatorname{tang}\alpha' + \tfrac{1}{2}b - q = -(R\cos\varphi - p)\cot\beta \quad . \quad . \quad (8)$$

waaruit φ niet dan door benadering kan gevonden worden. Daartoe schrijven wij (8) onder den vorm:

$$\varphi + \cot\beta \cot\alpha' \cos\varphi = \frac{p\cot\beta + q - \frac{1}{2}b}{R\operatorname{tang}\alpha'};$$

stellende: $\cot\beta\cot\alpha' = m$ en $\frac{p\cot\beta+q-\frac{1}{4}b}{R\,\mathrm{tang}\,\alpha'} = n$,

den vorm: $\varphi + m\cos\varphi = n$ . . . . . (9).

ra nu m en n in getallen bekend zijn, zal men door eene eproeving spoedig kunnen zien in welk quadrant φ valt, en r blijkbaar twee waarden voor φ moeten zijn, die de beide s en l bepalen, zoo zal men door zulk eene beproeving eg de beide bogen φ' en φ'', die aan de vergelijking (9) vol- kunnen vinden. Heeft men op die wijs eenen boog φ' ge- , die in (9) gesubstitueerd, voor het eerste lid eene waarde t, weinig van n afwijkende, dan zal het boogje θ, hetwelk gevoegd de juiste waarde van φ geeft, gevonden worden vergelijking:

$$\theta = \frac{n-n_1}{1-m\sin\varphi_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10);$$

or men dan naauwkeurig genoeg, zoowel de waarde van van φ'' vinden kan.

verschil der bogen φ'' en φ' gevonden zijnde, zoo is de lengte n waterhoudenden boog $R(\varphi''-\varphi')$, en dus de inhoud van et water gevuld gedeelte:

$$I = 2(R-r')\,Rb(\varphi''-\varphi') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11).$$

73. Als voorbeeld stellen wij $\alpha' = 11°29'$, $\beta = 50°$, $R = 2{,}16$, 15 en $R-r' = 0{,}81$; men vindt dan $\varphi' = 92°11'46''$ en $30°45'12''$ alzoo $I = 9{,}7332$ en $2I = 19{,}4664$. Volgens de wkeurige formule van Eytelwein (1) wordt $2I = 19{,}55$; roef met een model van de bovenaangewezen afmetingen gaf Neemt men $\alpha' = 28°37'$, $\beta = 30°$, $R = h$ 875 en $= 0{,}4375$, dan vindt men $I = 1{,}2585$, en alzoo r drie 3,7755, terwijl door de formule van Eytelwein gevonden 4,076; de proef gaf 3,6.

lit laatste voorbeeld bestond het werktuig werkelijk uit een bewegende met eenige speelruimte in eene kom; terwijl het berekend werktuig een tonmolen was, alwaar dus niets door imte verloren ging. Bij de vijzel voor de proeven gebruikt,

---

Handbuch der Mechanik und Hydraulik, 2te Auflage. § 263.

moet echter ook nog in aanmerking komen, dat de kom om de vijzel ter hoogte van de as cC sloot, en dus, om die proef het punt I beneden de lijn tw viel, door de zijdsche opening bij QIw water wegstroomde. Men zou eigenlijk dat geval uit I eene lijn evenwijdig aan tw moeten trekken, de snijpunten van die lijn met de centrale schroeflijn, de grenzen van den waterhoudenden boog nemen.

In die onderstelling gaat de lijn door een punt, wiens is $p = 0$ en alwaar $q = CI = \frac{1}{2}h$ is; waardoor de waarde in (9) verandert in:

$$n' = \frac{h - 2b}{4R \operatorname{tang} \alpha'} = \frac{\pi(h-2b)}{2h},$$

en de formule (9) in:

$$\varphi + m \cos \varphi = n'.$$

Neemt men hier eveneens $\alpha' = 28°37'$ en de verdere gegevens van het laatste voorbeeld, dan vindt men $I = 1{,}2481$ en dus drie gangen 3,7443, hetgeen zeer na aan de proef komt.

Wanneer evenwel de vijzel met eenigen spoed beweegt, zal het waterverlies door de zijdelingsche opening bij I niet groot zijn, omdat daar ter plaatse de zijwanden der kom gelijk verticaal naar boven verlengd zijn; alsdan is de ruimte doorlating van het water een weinig boven de as cC nog gering. Bij den stoomvijzelmolen in de droogmakerij van den Plas, is $h = 1{,}50$ el, $r' = 0{,}25$, $R = 0{,}5375$ en $\beta = 30°$; bende de vijzel drie gangen of draden (§ 270); met deze gegevens vindt men $\varphi' = 100°24'$, $\varphi'' = 223°6'$, en voor den inhoud van gangen 0,9930 cubiek ellen; zijnde hier niets voor de dikte schoepen afgetrokken.

Om naauwkeurige uitkomsten te verkrijgen diende men ook de dikte van de schoepen in rekening te brengen, doordien ruimte niet met water is opgevuld.

§ 274. Ofschoon de hier voorgedragen rekenwijs vrij overeenkomsten geeft met de waarnemingen, zoo kan men ter niet verzekerd wezen altijd zulk eene overeenkomst te krijgen als de afmetingen en hellingen veel van de hier bruikte afwijken, dewijl men eigenlijk niet overtuigd kan zijn de inhoud van den waterhoudenden boog in alle gevallen,

het product uit de lengte der projectie van het afgesneden der centrale schroeflijn met de dwarsdoorsnede der gan- bals wij reeds in § 272 hebben aangemerkt. Het volgende kan dienen, om zoo naauwkeurig als men goedvindt, den van het waterhoudend gedeelte te bepalen.

wederom Fig. 70^b de horizontale en verticale projectie van gangen eener vijzel voorstellen, even als zulks in Fig. 70^a an, zijnde hier echter duidelijkshalve de spil der vijzel l gesteld, zoodat *tw* hier, even als in de voorgaande figuur, ticalen doorgang van den waterspiegel met het verticale vlak voorstelt. Het waterhoudend gedeelte van den schroef- alzoo het gedeelte *yGt* ter linker zijde van de lijn *tw* ge- Verdeelen wij nu dien inhoud door vlakken *nn*, n_1n_1 enz., dig aan het grondvlak der vijzel, in een groot aantal deelen, die men, zoo de snijdende vlakken digt genoeg nder genomen worden, zal kunnen beschouwen als prisma's, s hebbende den inhoud der doorsneden van de snijdende met het waterhoudend gedeelte, en tot hoogte den af- ier snijdende vlakken. Door het aantal dier vlakken te gvuldigen, zal men blijkbaar meer en meer tot den waren naderen, althans zoo nabij als men noodig heeft. Ge- ve kan men de snijdende vlakken op gelijken afstand

houd der doorsnede van een snijdend vlak met het water- gedeelte kan gevonden worden op de volgende wijze: nen door de formulen van § 272 de coördinaten p en q punt t, alwaar het vlak *tw* de schroeflijn *tl* aanraakt, heeft, neme men eenen willekeurigen, doch kleinen af- voor de snijdende vlakken aan; het snijdend vlak *nn* snijdt k *tw* volgens eene lijn, waarvan de horizontale projectie $''$ wordt aangewezen, en het schroefvlak *laE* volgens eene n, waarvan $C'o'$ de horizontale projectie is; wordende het bepaald uit de snijding o van *nn* met de schroeflijn *oE*. ontale projectie der doorsnede van het vlak *nn* met het wa- nd gedeelte is alzoo de figuur, begrepen tusschen $C'o''$, het gedeelte van den omtrek der spil tusschen die lijnen Tot het bepalen van dien inhoud stellen wij den afstand tot $C, = y$, en hebben alzoo:

$$y = p - d \operatorname{tang} \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

16.

als (Fig. 70ª) $Cn = p$ en de afstand der snijdende vlakken $= d$ is. De hoek $E'C'o' = \varphi$ (Fig. 70ᵇ) wordt gevonden uit de hoogte z' van het punt o boven BE, want blijkbaar is:

$$r\varphi \operatorname{tang} \delta = z',$$

als r den straal CE' en δ den hellingshoek der schroeflijn LE voorstelt; maar dewijl $tn' = q$ uit de formule (6) van § 272 bekend is, hebben wij $z' = q + d$ en alzoo:

$$\varphi = \frac{q+d}{r \operatorname{tang} \delta};$$

of wel, daar $2\pi r \operatorname{tang} \delta = h$ is:

$$\varphi = \frac{2\pi(q+d)}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

De inhoud van den driehoek $C'p'o''$ is $\frac{1}{2}y^2 \operatorname{tang} \varphi$; telt men daarbij het halve cirkelsegment hetwelk $p'a' = r - y$ tot pijl heeft, en van die som den sector tusschen $C'a'$, Co', en den omtrek der spil, of $\frac{1}{2}r'^2\varphi$ af, dan heeft men den inhoud der doorsnede van het snijdend vlak nn met het waterhoudend gedeelte des schroefgangs.

Voor elk volgend snijdend vlak heeft men eene dergelijke berekening, tot zoolang namelijk als het snijpunt o'' binnen het grondvlak $B'E'$ blijft, of tot dat $r\cos\varphi = y$ wordt. Neemt men de afstanden tusschen de snijdende vlakken standvastig, dan neemt q met gelijke verschillen af en φ met gelijke verschillen toe, zoodat de berekening van y en q voor de opvolgende snijdende vlakken zeer gemakkelijk is. Met behulp van eene tafel der inhouden van cirkelsegmenten (1) is dus de inhoud der doorsneden gemakkelijk te berekenen.

Voor de snijdende vlakken, alwaar $r\cos\varphi$ kleiner dan y wordt, verandert de Figuur en alzoo de berekening van den inhoud der doorsnede. Bij het snijdend vlak n_1n_1', bij voorbeeld, valt de horizontale projectie der snijding van het vlak n_1n_1' met tw volgens de lijn mm' en die van n_1n_1' met het schroefvlak, volgens $C'q'$; de inhoud der gezochte doorsnede is dan die der Figuur, begrepen tusschen $C'q'$, $m'm$ en de beide cirkelomtrekken $t'a'$ en $B'E'$ van de spil en van den buitenomtrek der vijzel. De waarde van y, of van den afstand der lijn mm' tot C' wordt door de formulen (1) gevonden, als men daarin voor d den afstand van n_1n_1' tot t stelt;

(1) Zie onder anderen de Hulptafelen der K. Militaire Akademie.

erwijl de hoek φ wederom door de formule (2) wordt bepaald. Gemakkelijk worden die waarden dan gevonden, indien men zich een tafeltje vormt alwaar y en φ met gelijke verschillen af- en toenemen, zooals hiervoren gezegd is. Het is overigens duidelijk, dat de inhoud der gevonden Figuur bestaat uit het verschil van de twee cirkelsectoren $\frac{1}{2}r^2(\varphi - \frac{1}{2}\pi)$ en $\frac{1}{2}r'^2(\varphi - \frac{1}{2}\pi)$, opgeteld met hetgeen er overblijft, indien men de halve segmenten die $r' - y$ en $r - y$ tot pijl hebben, in de beide cirkels Ca' en CE', aftrekt van $\frac{1}{2}\pi r'^2$ en $\frac{1}{2}\pi r^2$, en van die waarden het verschil neemt.

Voor hooger gelegen snijdende vlakken verandert wederom de gedaante der doorsneden, doch daarom zijn die Figuren toch even gemakkelijk te bepalen, daar zij telkens begrensd zijn tusschen regte lijnen en cirkelbogen, waarvan de stand zeer eenvoudig bepaald wordt.

In de Figuur zijn er eenige aangewezen, waarvan de wording met eenige aandacht gemakkelijk kan worden nagegaan. Zoo is $r's''$ de projectie der doorsnede met het vlak rs, $v'u'u''$ die van het vlak vu. De inhouden dezer Figuren zijn ook gemakkelijk uit de som en het verschil van een paar sectoren, segmenten en driehoeken af te leiden.

De inhoud der eerste en laatste doorsneden zijn zeer klein, indien de snijdende vlakken digt genoeg bij elkander worden genomen; men kan hen alzoo verwaarloozen; de som der vorige, vermenigvuldigd met den afstand der snijdende vlakken, geeft dan den inhoud van het waterhoudend gedeelte.

§ 275. Deze constructie en berekening op de vijzel in den Zuidplas gebruikt, in § 273 opgegeven, toepassende, zoo vindt men, de snijdende vlakken op 5 duim van elkander stellende en alzoo het waterhoudend gedeelte door twee en twintig snijdende vlakken verdeelende, voor den inhoud van het waterhoudend gedeelte in één gang 0,3234 cubiek el, voor de drie gangen die telkens bij eene geheele omwenteling ledig loopen 0,9693 cubiek el; gevende een verschil van 0,0237 cub el, met de berekening in § 272 voorgedragen. De overeenkomst van beide rekenwijzen is grooter dan men verwachten kon.

De dikte der schoepen aan de vijzel van den Zuidplas bedroeg 4 duim, zoodat de hoogte der gangen 46 in plaats van 50 duim bedroeg; vermindert men den inhoud in dezelfde reden, dan zal

het waterhoudend gedeelte dat bij eene geheele omwenteling van de vijzel invloeit, nagenoeg 0,8918 cubiek el bedragen.

Met den stoommolen aan den Zuidplas zijn eenige proeven genomen, waaruit bleek dat bij 51,48, 50,21 en 42,17 omwentelingen in de minuut, de vijzel 45,70, 44,96 en 36,71 cub. el water in de minuut opbragt; dit geeft respectivelijk 0,8817, 0,895 en 0,871 cub. el per omwenteling; er is dan bijna niets door de speelruimte verloren gegaan. Hierbij wordt aangenomen dat de vijzel langzaam genoeg draait, om te mogen onderstellen dat de gangen zich behoorlijk vullen konden en dat de waterspiegel in den vijzelgang bijna horizontaal bleef, hetgeen bij snelle omwenteling geen plaats heeft.

§ 276. Bij de zoo even aangehaalde proeven met den stoomvijzelmolen aan den Zuidplas, werd bevonden dat het stoomwerktuig, door het verbruiken van 1 pond steenkolen, 39,4 cub. el water op 1 el hoogte bragt en alzoo een' arbeid leverde van 39400. In een etmaal wordt er gewoonlijk omtrent 4177 pond en alzoo 2,9 pond per minuut verbrand, en daar elk pond 39400 aan arbeid levert, wordt er een arbeid van 114300 voortgebragt, overeenkomende met 25,4 paardenkracht; het werktuig wordt echter van 30 paarden genoemd. Deze hoeveelheden zijn merkelijk minder dan die in § 263 bij eenen stoomschepradmolen opgegeven; hoewel aldaar de stoom van lage drukking zijnde, niet met uitzetting werkte. Dit verschil is waarschijnlijk toe te schrijven aan de betere inrigting van het stoomwerktuig en aan de geringe snelheid waarmede het scheprad omging, waardoor de invloed der botsingen zeer verminderd werd. Bij de windmolens is men genoodzaakt, bij middelbare winden, vrij aanzienlijke snelheden aan de schepraden en vijzels te geven, ten einde ook bij slappere winden te kunnen werken; doch die reden vervalt geheel bij stoomwerktuigen, alwaar het vermogen onveranderd blijft. Men zou voorzeker het vermogen van den stoomvijzelmolen bij gelijk verbruik van brandstof merkelijk vermeerderen door de snelheid van omwenteling te verkleinen.

§ 277. De voordeeligste stelling der vijzels is niet anders dan uit proeven af te leiden; zoolang men de wrijvingen en botsingen van het water in de vijzel buiten rekening laat, is die stelling geheel onverschillig, indien slechts de vijzel water schept, dewijl de arbeid door de vijzel geleverd, altijd gelijk is aan die

door de bewegende kracht op de vijzel overgebragt; men heeft dus slechts na te gaan, welke vermeerdering of vermindering van wrijvingen en botsingen er ontstaan door de helling van de vijzel te wijzigen.

§ 278. Eveneens is het gelegen met de voordeeligste snelheid van de vijzel: bij vermeerdering van snelheid vermeerdert ook voorzeker het onvermijdelijk verlies uit de botsingen die het water ondergaat en uit de snelheid van het water bij het verlaten der vijzel; doch daar tegenover staat een meerder verlies door de speelruimte bij geringe snelheden; ook hier kan alleen de onderviding beslissen.

Worden de vijzels door den wind gedreven, dan kunnen zij bij slappe winden geen arbeid leveren, omdat de te heffen last te groot wordt in vergelijking der kracht; door het aanbrengen van eene schuif in de kom, even boven het benedenwater, die meer of min geopend wordt, naarmate de kracht van den wind af- of toeneemt, kan men hierin voorzien. In de windvijzelmolens aan den Zuidplas zijn dergelijke schuiven aangebragt. Indien men zulke schuiven in verband bragt met een toestel, zooals in § 128 beschreven is tot het openen en sluiten der smoorklep van de stoomwerktuigen, welk toestel gemakkelijk door de molenwieken kon bewogen worden, dan zou men het openen en sluiten der schuif kunnen regelen, juist naarmate de kracht van den wind zulks vorderde.

§ 279. Men heeft geene naauwkeurige, opzettelijke proeven, waarbij men het vermogen der vijzels met dat der schepraderen kan vergelijken; men zou daartoe bij de windmolens, waardoor deze bestellen meest gedreven worden, hen gelijktijdig tegen elkander door denzelfden wind moeten in beweging brengen. Volgens proeven van den Hoofd-Ingenieur C. L. Brunings (1), genomen in 1803, gaf een vijzelmolen van de grootste soort, bij eene snelheid van 59,23 enden, eene opmaling van 22 667 tonnen water op 1 duim, of van 96 340 ponden op 1 el in de minuut, gelijkstaande met 21,4 paardenkracht; bij eene snelheid van 67 enden was de arbeid 29 795 ton op 1 duim of 126 630 ponden op 1 el, en dus 28,1 paardenkracht, terwijl eene vijzel in den Heer-Hugowaard

(1) Van Lynden, *Ontwerp tot het droogmaken van het Haarlemmermeer*. Blz. 102 en 103.

bij 72 enden in de minuut 30 172 ton op 1 el en dus 28,5 paardenkracht gaf; uit gebrek aan eenige opgave van de kracht des winds bij die proeven, in vergelijking van die bij de proeven met schepraderen, is over het betrekkelijk voordeel der vijzels geene beslissing op te maken.

§ 280. De hier te lande veelvuldig gebruikelijke kettingmolens tot het drooghouden van funderingsputten, vindt men beschreven in de *Handleiding tot de kennis van de Burgerlijke en Milit. Bouwkunde*, terwijl men nog vele andere werktuigen tot het opheffen van water zal vinden, in Borgnis *Traité de mécanique appliquée aux arts*, in Langsdorf *Maschinen-lehre*, enz. Het hier behandelde zal voldoende wezen om de werking dier werktuigen te kunnen nagaan en de voor- en nadeelen die zij opleveren te beoordeelen; hoofdzakelijk heeft men na te gaan, of het water aan meer of minder botsingen en wrijvingen is blootgesteld, en of het bij 't verlaten des werktuigs aanzienlijke snelheden verkrijgt, hetgeen als zoovele bronnen van verlies aan arbeid is aan te merken.

OVER DE POMPEN.

§ 281. In de Hydrostatica is de algemeene inrigting en het gebruik der verschillende soorten van pompen aangewezen; wij zullen hier nog een en ander bijbrengen, ten einde het vermogen en de verschillende hoofdafmetingen der pompen te leeren bepalen, naar gelang van het oogmerk waartoe men hen wil gebruiken.

Behalve in het gewone huiselijk gebruik, dienen de pompen in het algemeen dáár waar men het water op grootere hoogte verlangt te brengen, dan waartoe de hiervoren beschreven toestellen gewoonlijk in staat zijn. Bij het brengen op zeer groote hoogten, zooals bij het uitpompen der kolen- en andere mijnen, alwaar het water soms eenige honderd ellen hoog wordt opgebragt, worden bij uitsluiting pompen gebruikt.

§ 282. Zooals in de Hydrostatica is aangewezen, moet bij de zuigpomp, de zuiger in zijnen hoogsten stand, nooit hooger boven den benedenwaterspiegel komen, dan waarop de drukking van den dampkring de op te pompen vloeistof drijven kan, wanneer de zuiger een volkomen luchtledig in de pomp heeft voort-

ebragt. In de toepassing moet men echter merkelijk onder deze oogte blijven, dewijl het water altijd lucht bevat, die lucht ntwikkelt, onder den zuiger brengt en alzoo het vormen van en volmaakt luchtledig belet; terwijl daarenboven het water op die uiterste hoogte zeer langzaam onder den zuiger zou toevloeijen, hetgeen eene geregelde en eenigzins spoedige werking der pomp belet. Men bepaalt derhalve den hoogsten stand des zuigers op omtrent 8 el boven den benedenwaterspiegel; ofschoon de middelbare drukking van den dampkring het water tot op ruim 10 ellen brengt.

De snelheid waarmede het water in eene buis $ABFE$ (Fig. 63) opklimt, wanneer het door de dampkringsdrukking van de hoogte $AC = h$ tot op zekere hoogte $AE = h'$ gebragt wordt, kan als volgt gevonden worden:

Zij H de hoogte eener waterkolom, gelijkstaande met de drukking van den dampkring, en a de inhoud der dwarsdoorsnede $AB = CD$ van de buis, dan is de massa vloeistof van AB tot CD in de buis begrepen ahp, p het gewigt van eene cubieke eenheid water voorstellende; en evenzoo xap de massa $efAB$, als $Ae = x$ is gesteld. Wordt nu het water, dat ter hoogte van CD stilstond, door de drukking Hap des dampkrings naar boven gedreven en bezit het in ef gekomen eene snelheid v, dan heeft men aldaar als bewegende kracht $Hap - xap$ en voor de bewogen massa xap; derhalve is de versnelling in den tijd ∂t (Dynamica § 36):

$$\partial v = g \frac{H - x}{x} \partial t,$$

waaruit volgt:

$$v \partial v = g \frac{H - x}{x} \partial x;$$

alzoo: $$\tfrac{1}{2} v^2 = g \{ H \text{ nep log } x - x + C \}.$$

In CD alwaar $x = h$ is, is de snelheid $v = 0$, derhalve heeft men voor de snelheid in ef:

$$\tfrac{1}{2} v^2 = g \left\{ H \text{ nep log } \frac{x}{h} - (x - h) \right\}.$$

Stelt men hierin $H = 10$, $h = 8$ en $x = 10$, dan vindt men $v = 2{,}13$ el voor de snelheid waarmede het water de hoogte van

10 el zou bereiken, indien bij den aanvang der beweging de waterkolom acht el hoogte had en geheel stilstond. De middelbare snelheid zou men dus nagenoeg op 1 el kunnen stellen, terwijl, zoo de uiterste hoogte der kolom slechts 8 el bedroeg en alzoo de oorspronkelijke stand *CD* lager was, de middelbare snelheid nog grooter zou worden. Dewijl men als regel neemt, de snelheid van den zuiger nooit grooter dan van 1 el te nemen (1), om onnutte krachtverspilling voor te komen, zoo blijkt uit het hier berekende voorbeeld, dat indien de zuiger in zijnen hoogsten stand niet meer dan 8 el boven den benedenwaterspiegel komt, het water in de zuigpijp onder den zuiger altijd met eene grootere snelheid dan die van den zuiger wordt opgedreven, en alzoo de ruimte onder den zuiger altijd zal blijven vullen, zooals voor eenen geregelden gang noodig is.

§ 283. Hoewel de zuiger niet veel meer dan acht el boven den benedenwaterspiegel mag komen, zoo kan de pompbuis boven den zuiger naar goedvinden verlengd, en alzoo het water tot verlangde hoogte gebragt worden. De zuiger moet dan evenwel in zijnen laagsten stand nooit meer dan ongeveer acht el boven den benedenwaterspiegel verwijderd blijven. Bij diepe mijnputten verlengt men echter de buis boven den zuiger zelden veel meer dan omtrent 30 ellen, dewijl de aanzienlijke drukking op den zuiger bij grootere hoogte het zeer moeijelijk maakt de doorlekking tusschen den zuiger en de pompbuis te beletten, althans zonder zeer groote wrijving van den zuiger in de pomp. Moet het water veel hooger gebragt worden, dan gebruikt men meer deze pompen, die elkander het water toevoeren.

Om zooveel mogelijk alle hindernissen tegen de beweging van het water in de pomp te ontwijken, wordt de pompbuis *AB* (Fig. 74) wijder gemaakt dan de zuigpijp *CD*, men kan alsdan ruimte vinden om de opening der klep van het hart *E* zoo groot te nemen als de zuigpijp zelve en daardoor de zamentrekking van den waterstraal, zooveel mogelijk verminderen. Meestal is de dwarsdoorsnede van de zuigpijp tusschen $\frac{3}{4}$ en $\frac{3}{5}$ van den inhoud der dwarsdoorsnede van de pompbuis (2). Wordt het water nog op

(1) Volgens Morin, zou men de snelheid des zuigers tusschen 0,16 à 0,25 el in de seconde moeten bepalen.

(2) Eytelwein, *Handbuch der Mechanik und Hydraulik*, § 218.

erkelijke hoogte boven den zuiger gebragt, dan geeft men aan
: leipijp *GH* boven de pompbuis, wederom dezelfde middellijn
s aan de zuigpijp.

§ 284. Het hart der pomp, alleen dienende om het terug-
loeijen van het water voor te komen, zou even goed beneden
ls boven aan de zuigpijp kunnen zijn; doch alsdan zou het in
verking brengen der pomp, wanneer de buis en pompbuis ledig
ijn, meer moeijelijkheid ontmoeten; want de zuiger zou dan wel
ij het heen- en weêrgaan de lucht in de zuigpijp verdunnen en
lzoo het water aldaar doen oprijzen, maar zoodra dan de zuiger,
ij het nedergaan, de lucht in de zuigpijp boven het ingevloeide
water niet sterker te zamendrukte dan de spanning van den damp-
kring, zou er geene verdere rijzing van water plaats hebben,
en daardoor de pomp buiten werking blijven. Vult men echter de
zuigpijp vooraf met water, dan kan de verdere beweging onaf-
gebroken voortgaan.

Om deze zelfde reden tracht men altijd den zuiger in zijnen
laagsten stand, zoo digt mogelijk bij het hart te brengen, dewijl
anders de lucht in de zoogenaamde schadelijke ruimte, tusschen
den laagsten stand des zuigers en het hart overgebleven, het
vormen van eene luchtledige ruimte belet, en alzoo het in wer-
king brengen der pomp moeijelijk maakt. Zelfs wanneer het hart
hoog boven den waterspiegel ligt, zou de lucht, die altijd met
het water medegevoerd wordt, zich in de ruimte verzamelen en
het verder waterpompen beletten. Het is alsdan noodig de scha-
delijke ruimte zooveel mogelijk weg te nemen; bij pompen alwaar
het hart laag staat is hierbij minder zwarigheid.

Men maakt de zuig- en pompbuizen veeltijds van ho[illegible]zer;
somtijds is alleen de pompbuis van ijzer of brons, [illegible] verige
buizen van hout of lood. In de ijzeren of bronzen pompbuizen
kan men de binnenoppervlakte zuiverder bewerken dan in hout,
de zuigers bewegen dan juister en gemakkelijker; bij kleinere
pompen is ook wel de pompbuis van lood.

§ 285. De klep die de afsluiting bij het hart voortbrengt,
dient zich gemakkelijk te openen, om den doortogt van het water
zoo min mogelijk te beletten, alsmede spoedig te sluiten, opdat er
zoo min water mogelijk terugvloeije bij het nedergaan van den
zuiger.

De eenvoudigste klep bestaat uit een stuk leder; de opening

sluitende, en ergens bij *a* vastgeschroefd of gespijkerd. Voor zoover dit leder de opening der zuigpijp bedekt, is het van onderen met een stuk lood en van boven met eenen houten klos bekleed. Het lood belet het doorbuigen en de klos het geheel achteroverslaan der klep. Om het doorsnijden van het leder *a* door de koppen der schroeven of spijkers voor te komen, wordt aldaar een tweede reepje leder gelegd.

In plaats van Jederen kleppen heeft men de zoogenaamde *schulpklep* (Fig. 72), bestaande uit eene bronzen of andere metalen kom, met hare bolle zijde tegen de zitting *ab* zoo naauwkeurig mogelijk sluitende. In het midden is eene stift, die bij het op- en nedergaan tusschen een of twee vaste oogen blijft, waardoor de klep altijd in dezelfde rigting nedervalt. Hoe ligter die klep is des te gemakkelijker is de beweging. De hoogte waarop deze klep zich opent, dient zoodanig te wezen, dat het water in de hoogte van den aldus geopenden doorgang evenveel ruimte als in de zuigpijp vindt.

Behalve de schulpkleppen heeft men ook *kogelkleppen*, gevormd door eenen hollen kogel, die op de zitting sluit en door beugels belet wordt hooger dan noodig is, op te rijzen. De moeijelijkheid echter om die kleppen volkomen sluitend te maken doet ze weinig gebruiken.

In zeer wijde pompen, alwaar de schulpklep te zwaar, en daardoor bij het vallen spoedig onbruikbaar zou worden, gebruikt men dubbele kleppen (Fig. 75), die om eene spil in het midden der opening bewegen; zij zijn voorzien van nokken, om het achteroverslaan te beletten.

Bij pompen die voortdurend werken, wordt meestal eene inrigting gemaakt, bijv. zooals in Fig. 72, om gemakkelijk bij het hart te kunnen komen, hetzij tot schoonmaken of herstellen. Bij gewone pompen is een haak of beugel aangebragt, waardoor men het hart kan ophalen, na den zuiger te hebben uitgenomen.

§ 286. De kleppen in den zuiger kunnen op dezelfde wijze als die van het hart worden ingerigt. De zuiger bestaat uit hout of metaal en moet het water zooveel mogelijk vrijen doortogt geven. De aansluiting tegen de pompbuis kan, door middel van teerk of katoen, op dezelfde wijze ingerigt worden, als bij de zuigers der stoomwerktuigen is beschreven. De gewone houten zuigers (Fig. 74) zijn voorzien van eenen lederen rand, sluitende tegen de

pompbuis; het water boven op den zuiger drukt het leder bij het opgaan sterk genoeg tegen de zijden aan om het lekken te beletten, terwijl de wrijving bij het nedergaan gering is.

§ 287. Het ondereinde der zuigpijp wordt wel eens kegelvormig verwijd, om de zamentrekking te verminderen. Vreest men het oppompen van zand of andere vreemde stoffen, waardoor de kleppen kunnen lijden, dan wordt het ondereind afgesloten en met kleine gaatjes voorzien. Om het verlies bij den tegenstand door die openingen te verminderen, kan men de buis verwijden, zooals in Fig. 73. Beter echter is het de pomp door draadwerk of met een rooster van grooten omvang te omringen.

§ 288. Het berekenen van den arbeid, waardoor men met eene pomp eene bepaalde hoeveelheid water kan opbrengen, geschiedt het gemakkelijkst door het grondbeginsel der levende krachten.

Eene pomp die in regelmatigen gang is, kan men beschouwen in de twee oogenblikken waarin de zuiger volmaakt denzelfden stand heeft en in dezelfde rigting beweegt. Bij het begin en het einde van het tijdperk, tusschen die oogenblikken begrepen, heeft dan, zoowel de zuiger, als het water in de pomp, wederom overal dezelfde snelheid, zoodat de arbeid op den zuiger aangebragt, geheel alleen besteed wordt: tot het opbrengen van de hoeveelheid water in dit tijdperk opgepompt, tot het overwinnen der wrijvingen en tegenstanden die gedurende het pompen werken, en eindelijk tot het mededeelen der snelheid aan het water dat de pomp verlaat.

Bij elken geheelen zuigerslag, alwaar de zuiger ééns op en ééns nedergaat, verloopt juist zulk een tijdperk, bij welks begin en einde de snelheid der deelen van het werktuig en van het water daarin begrepen, wederom dezelfde zijn; wij kunnen dus het bovenaangewezene op zulk eenen zuigerslag toepassen.

Zij A de inhoud der dwarsdoorsnede van de pompbuis, H de hoogte van den zuigerslag, C zijne middelbare snelheid, h de totale hoogte van opbrengst, en laat het water met de snelheid c de pomp verlaten, alsmede p het gewigt eener cubieke eenheid water zijn. Volgens het grondbeginsel der levende krachten is algemeen (Dynamica § 215):

$$\Sigma \int P \partial s - \Sigma \int P' \partial s' = \Sigma \frac{m}{2g} (v^2 - v_0^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

Stellende hierin V gelijk aan den arbeid der bewegende kracht gedurende eenen zuigerslag, dan is $\Sigma\int P\delta s = V$. In dien tijd is eene hoeveelheid water pAH ter hoogte h gebragt, en tevens zekeren tegenstand der wrijving enz. overwonnen; het overwinnen dezer tegenstanden gedurende eenen zuigerslag kan men gelijk aan zekeren arbeid W stellen, en alzoo $\Sigma\int P'\delta s' = phAH + W$ nemen. De snelheid van al de waterdeelen in de pomp en die van de verdere deelen des toestels, is bij het begin en het einde van den zuigerslag dezelfde; voor die deelen vervalt dus het tweede lid der vergelijking (α); alleen de watermassa ApH de pomp verlatende, bezit de snelheid c, terwijl die watermassa in het benedenwater, bij het begin van het tijdperk, eene snelheid nul had: voor die hoeveelheid wordt het tweede lid der genoemde vergelijking $\frac{AHp}{2g}c^2$, en alzoo de vergelijking zelve:

$$V - AHhp - W = \frac{AHpc^2}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\delta).$$

De arbeid W kan men beschouwen als uit twee deelen te bestaan, namelijk het gedeelte dat de wrijving van den zuiger overwint en dat hetwelk den tegenstand bij de beweging van het water door de pomp en zuigbuis en bij de kleppen overwint.

Indien de zuigbuis en buis boven op de pomp niet zeer lang noch bogtig zijn, dan is de tegenstand dien het water bij zijne beweging in die buizen ondervindt, zeer gering, zooals blijken kan uit het hieromtrent aangevoerde in § 102 der Hydrodynamica.

De tegenstand bij den doorgang der kleppen is van meer belang, hoewel ook niet zoo groot als men zich wel eens voorstelt; ten minste indien de afmetingen der pijpen en kleppen naar behooren geregeld zijn.

Men kan zich den tegenstand bij het doorstroomen van eene klep, voorstellen als overwonnen te worden door de drukking van eene waterkolom, die de opening waardoor het water stroomt tot basis heeft, en overigens kan men dien tegenstand gelijkstellen aan dien van de zamentrekking van den waterstraal bij de uitvloeijing uit kleine openingen. Is dus de drukhoogte tot de snelheid behoorende h, en de coëfficient der zamentrekking n, zoo is de voortgebragte snelheid $c = n\sqrt{2gh}$; zonder zamentrekking zou men hebben $c = \sqrt{2gh'}$, zoodat $h - h'$ de drukhoogte voorstelt

e bij de snelheid c door de zamentrekking vereischt wordt. Uit vergelijking $n^2 h = h'$ volgt gemakkelijk:

$$h - h' = (1 - n^2) h = \frac{1 - n^2}{n^2} h'.$$

Is alzoo h' de valhoogte, behoorende bij zekere snelheid c, waarede het water door eene klep stroomt, dan kan men den testand dien het water aldaar ontmoet, gelijkstellen aan het opgten van eene waterkolom, die $\frac{1-n^2}{n^2} h'$ of $\frac{1-n^2}{n^2} \cdot \frac{c^2}{2g}$ tot hoogte eeft.

Bij het doorgaan van het hart, alwaar de opening der klep lijk is aan die der zuigbuis, zal men voor n den coëfficient van mentrekking voor het doorstroomen door korte cilindervormige jpen kunnen nemen, of wel $n = 0{,}8125$ (Hydrodynamica, § 16) ogen stellen. Hierdoor wordt de coëfficient van h' of van $\frac{c^2}{2g}$ = 51.

Bij het doorstroomen van het water door den zuiger, zal men enzelfden coëfficient kunnen gebruiken, indien de zuiger niet er dun is, omdat men alsdan de opening in dien zuiger als ene korte cilindervormige buis kan beschouwen.

Bij het instroomen onder aan de zuigbuis, zal de zamentrekng zeer gering zijn, indien de buis aldaar kegelvormig verwijd ; doch is het ondereinde gesloten en alleen van gaten voorzien, an zal de zamentrekking aldaar mede in rekening dienen te omen.

§ 289. De wrijving van den zuiger is moeijelijk te bepalen, s afhangende, zoowel van de meer of mindere volkomenheid aarmede de juiste cilindervormige gedaante aan de inwendige ppervlakte van de pompbuis is gegeven, als van de sluiting van en zuiger. Men zou kunnen aannemen, even als bij de zuigers er stoomwerktuigen, dat de drukking van den zuiger tegen de ompbuis, voor het minst gelijk diende te zijn aan de drukking aarmede het water of de dampkring tusschen den zuiger en de ompbuis tracht door te dringen; zoodat, wanneer men die drukng gelijkstelde aan die van eene waterkolom, k tot hoogte ebbende, die wrijving zou zijn $2\pi prdk \operatorname{tang} \mu$, waarin r den traal van den zuiger, d zijne dikte en μ den wrijvingshoek voor-

De wrijving van den zuiger in de pompbuis, levert eenen tegenstand gelijk aan het gewigt eener waterkolom, aangewezen door

$$mAp\,\frac{h}{2r};$$

indien men namelijk, met Eytelwein, de hoogte h rekent als de drukhoogte waarbij de zuiger het doorlekken moet beletten. Deze tegenstand moet zoowel bij het op- als neêrgaan overwonnen worden; de arbeid daartoe vereischt is dus:

$$2H\,.\,mAp\,\frac{h}{2r}.$$

Eindelijk ondergaat de zuiger bij het nederdalen nog eenen tegenstand, aangewezen door:

$$\frac{C^2A^2}{2ga^2}pA,$$

omdat de snelheid, waarmede de kleppen van den zuiger het water ontmoeten, $\frac{A}{a}C$ is. De overige deelen van den zuiger ontmoeten eigenlijk het water slechts met de snelheid C; de tegenstand is daar dan iets minder, doch wij zullen voorzigtigheidshalve de eerstgenoemde snelheid in rekening brengen. Deze tegenstand werkt alleen bij het nedergaan, zoodat de arbeid daartoe vereischt, is:

$$\frac{C^2A^2}{2ga^2}pAH.$$

Dewijl eindelijk de snelheid waarmede het water de pomp verlaat, is: $\frac{A}{a}C$, zoo verandert dan ook de term $\frac{C^2}{2g}HAp$ der vergelijking (*a*) (§ 288) in:

$$\frac{C^2A^2}{2ga^2}HAp.$$

Diensvolgens wordt dan die vergelijking (*a*):

$$V = AHp\left(h+2\,.\,0{,}5146\,\frac{C^2A^2}{2ga^2}\right)+2\,.\,\frac{C^2A^2}{2ga^2}AHp+2mAHp\,\frac{h}{2r}$$

$$= AHp\left\{h+1{,}5146\,\frac{C^2A^2}{ga^2}+\frac{mh}{r}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

§ 292. Stelt men eens als voorbeeld: $h = 8{,}1$ el, $C = 0{,}4$ el, $= 0{,}5$ el, de middellijn van de pompbuis $2r = 0{,}2$ el en die der ig- en ligtpijp boven de pompbuis 0,142 el, alsmede $m = 0{,}02$, als voor uitgeboorde bronzen pompbuizen door Eytelwein wordt gegeven, dan vindt men uit (1) $V = 154{,}2$ pond op 1 el. Werd kracht die de pomp beweegt, onmiddellijk op den zuiger in verlengde van de zuigerstang aangebragt, dan zou zij, daar kracht dan juist bij elken slag eene el doorloopt, ook 154,2 nd moeten bedragen. Evenwel zou die kracht zoowel bij het der- als bij het opgaan dienen te werken; maar daar de tegen- nd van den zuiger, bij het nedergaan, alleen door de wrijving de pompbuis en door den tegenstand des zuigers tegen het troomend water werkt, zou de kracht van 154,2 pond den iger bij het nederdalen aanmerkelijk versnellen, om bij het op- an even zooveel te vertragen. Die aanmerkelijke versnelling u dan eenen grooteren tegenstand voortbrengen als waarop hier, or het aannemen eener middelbare snelheid, is gerekend. In ats dan van de bewegende kracht zoowel bij het neder- als bij opwaarts bewegen te doen werken, is het verkieslijker de be- egende kracht alleen bij het opgaan te gebruiken, en den toe- el waardoor de zuiger bewogen wordt, zoodanig te regelen, t de voortgebragte versnelling gebruikt wordt om den zuiger der benedenwaarts te bewegen. Door de zuigerstang aan eenen ukarm van een drijfrad voorzien, te verbinden, zou dit oogmerk nnen bereikt worden.

Het product AHp van de opgebragte hoeveelheid water met de oogte h van opbrengst is 127,2; alzoo wordt er een arbeid van $54{,}2 - 127{,}2 = 27$ pond op 1 el door de verschillende tegen- tanden verslonden. De wrijving van den zuiger neemt hiervan et grootste gedeelte weg; want de term $\frac{mh}{r}.AHp$, die den arbeid ot het overwinnen der wrijving aanwijst, bedraagt 25,4 pond op el. De wederstand bij de kleppen en het verlies van de snel- eid bij het uitstroomen is alzoo zeer gering.

Men kan echter niet op eene opbrengst van $AHp = 127{,}2$ pond water per zuigerslag rekenen. Eensdeels, omdat het water bij het prijzen in de zuigpijp lucht ontwikkelt, die ruimte inneemt onder den zuiger; en ten anderen, omdat de kleppen niet juist sluiten op het oogenblik waarop de zuiger zijnen hoogsten en laagsten

stand bereikt, maar daartoe eenigen tijd vereischen, waarin eenig water terugloopt, terwijl eindelijk ook eenig verlies door lekking wordt voortgebragt. Men rekent daarom op een zesde verlies van de opbrengst (1) bij gewone pompen, doch bij zeer goede pompen op een twaalfde (2), en bij uiterst naauwkeurige op één dertigste (3).

Dewijl de wrijving der zuigers bij de beweging der pompen de hoofdzakelijke tegenstand is, die behalve de heffing van het water zelf, in rekening komt, zoo kan men alle andere tegenstanden bij eene eenigzins ruwe berekening weglaten; te meer daar de juiste grootte dier tegenstanden niet bekend is. Men zou dus voor den arbeid bij het heffen van den zuiger kunnen nemen 127,2+12,7 = 139,9 pond op 1 el, en bij het nedergaan 12,7 pond op 1 el. Of wel er zou bij het opgaan nagenoeg 2.139,9 = 279,8 pond, en bij het nedergaan 2.12,7 = 25,4 pond op de zuigerstang moeten werken.

§ 293. In plaats van de enkele zuigpomp, gebruikt men ook wel de zuig-perspomp (Hydrostatica, § 70) om het water op eene gegeven hoogte te brengen. Men verkiest deze pomp boven de enkele perspomp, omdat bij deze laatste de zuiger alleen bij het nedergaan water opbrengt, en in het opgaan geen' anderen tegenstand ontmoet dan de wrijving des zuigers; terwijl bij de zuig-perspomp de zuiger bij het opgaan tevens water opzuigt, en zoowel bij het op- als nedergaan eenen tegenstand heeft te overwinnen; zoodat wanneer de zuiger door eene standvastige kracht, bij het op- en nedergaan wordt gedreven, het verschil tusschen den last daarbij niet zóó groot en dus de ongelijkheid in de snelheden niet zóóveel bedraagt, als anders het geval zou wezen. Daarenboven, wanneer de zuiger, zooals bij de enkele perspomp, onmiddellijk in het benedenwater beweegt, worden er eerder zand en onreinigheden opgeperst, waardoor de zuiger en de kleppen spoedig onklaar raken en verslijten.

§ 294. Zooals uit de beschrijving der zuig-perspomp in § 70 der Hydrodynamica volgt, is de zuiger zonder kleppen en geheel massief; de aansluiting geschiedt overigens, even als bij de zuig-

(1) Ettelwein, *Hydraulik*, 2te Auflage, p. 295.
(2) Gerstner, *Handbuch der Mechanik*, III. p. 295.
(3) Arrengaud, *Publication industrielle*, III. 513.

ompen; alzoo kan de wrijving in de pompbuis op dezelfde wijs s bij laatstgenoemde berekend worden. De Engelsche Werktuigundige Braman, heeft eene soort van zuiger uitgedacht, waarloor het uitslijten van de pompbuis geheel wordt voorgekomen n op den zuiger overgebragt. De zuiger *A* (Fig. 76), die iets anger wordt dan de totale lengte van den zuigerslag, beweegt namelijk op dezelfde wijze in de pompbuis als zulks bij de stoomwerktuigen (§ 112) voor de beweging der zuigerstang door het deksel van den stoomcilinder, is beschreven. De Figuur wijst die inrigting aan. Men heeft hier het voordeel van de wrijving naar goedvinden te kunnen matigen, door het aanschroeven der moeren *a*, *b*. Bij eene langdurige beweging zal de zuiger en niet de ompbuis uitslijten; het vernieuwen van den zuiger veel gemakelijker zijnde dan van de pompbuis, zoo is hierin een merkelijk oordeel gelegen. Om den zuiger niet onnut zwaar te maken is ij van binnen hol.

De inrigting der kleppen kan dezelfde zijn als bij de zuigpomen; zij worden zoo geplaatst dat men er gemakkelijk bij kan, ot het doen van herstellingen of vernieuwingen.

§ 295. De arbeid, bij eene zuig-perspomp vereischt, om eene epaalde hoeveelheid water op eene gegeven hoogte te brengen, an, even als bij de zuigpompen, gemakkelijk door het algemeen eginsel der levende krachten gevonden worden.

Wanneer namelijk deze pomp in geregelden gang is, en men eschouwt zulk een tijdperk der beweging, begrepen tusschen twee ogenblikken alwaar de zuiger dezelfde snelheid bezit, dan hebben al de waterdeelen in de pomp, alsmede al de deelen van het verktuig zelf, ook wederom dezelfde snelheid, terwijl daarenoven het water dat de pomp verlaat, eene middelbare snelheid $\frac{A}{a}$ C heeft verkregen; C de middelbare snelheid van den zuiger, A zijne dwarsdoorsnede en *a* de dwarsdoorsnede zijnde van de pening waaruit het water ontwijkt. Is dus *h* de totale hoogte an opbrengst, H de lengte des zuigerslags, en W de arbeid voor et overwinnen der tegenstanden bij de beweging, dan is de arbeid S tot het voortbrengen van een' geheelen zuigerslag, uit de ergelijking:

$$S - AH\mathit{hp} - W = \frac{AH\mathit{p}}{2g} \cdot \frac{A^2}{a^2} C^2 \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

te vinden. Dewijl de wrijving van den zuiger dezelfde is als bij eene zuigpomp, die het water op dezelfde hoogte brengt, en er daarenboven evenveel kleppen als bij de zuigpomp bestaan, kan men voor den arbeid W der verschillende tegenstanden, volmaakt dezelfde waarden gebruiken als bij de zuigpompen, en alzoo de formulen van § 291 nemen, zoowel voor de zuig- als voor de zuig-perspompen. Geen dezer pompen heeft dus, voor zoover den arbeid tot hare beweging aangaat, eenig voordeel boven de andere. De perspomp geeft het voordeel van eene minder ongelijkmatige verdeeling van den tegenstand op den zuiger, en dus eene gelijkmatigere snelheid. Bij de perspomp kan de buis waardoor het water wordt opgeperst, eene meer willekeurige rigting hebben dan bij de zuigpomp, alwaar de buis volkomen verticaal moet staan voor de vrije beweging der zuigerstang; ook kan de bewegende kracht bij de perspomp onmiddellijk boven de pompbuis op de zuigerstang werken, terwijl bij de zuigpomp, de zuigerstang boven de ligtbuis moet uitkomen en voor het minst zóólang dient te zijn, als de hoogte van het water boven het hart der pomp. Zoowel bij de zuig- als bij de perspomp, is er voordeel in gelegen de middellijn der uitlooppijp, in vergelijking van die der pompbuis, niet te naauw te nemen, dewijl daardoor de tweede term van de vergelijking (1) toeneemt. Het is alleen om de kosten van aanleg en om het gewigt des werktuigs te verminderen, dat men die pijpen naauwer dan de pompbuis neemt.

Het berekenen der grens voor de snelheid van den zuiger, opdat het water bij de zuig-perspomp snel genoeg door het hart onder den zuiger kunne toevloeijen, geschiedt volmaakt op dezelfde wijs als bij de zuigpomp. Eene snelheid van 0,5 el voor den zuiger, wordt gewoonlijk als maximum aangenomen.

§ 296. De term $\frac{pHA}{2g} . C^2 \frac{A^2}{a^2}$ in de vergelijking (1) van § 291 voorkomende, wijst den arbeid aan, vereischt om aan de hoeveelheid pHA de snelheid $C^2 \frac{A^2}{a^2}$ mede te deelen. Bij vele schrijvers vindt men, in plaats van dezen, den arbeid in rekening gebragt, om aan de geheele watermassa, in de verschillende deelen van de pomp begrepen, de middelbare snelheden te geven die zij gedurende elken zuigerslag verkrijgen; doch men kan zich gemakkelijk overtuigen dat die onderstelling verkeerd is.

Wanneer de zuiger in eene zuigpomp, uit zijnen laagsten stand naar boven gaat, dan is de snelheid bij die beweging eerst vernellend en dan vertragend, dewijl de zuiger in zijnen hoogsten n laagsten stand eene snelheid nul bezit. Bij het eerste gedeelte ler beweging moet alzoo de zuiger het op hem rustende water ene versnelde beweging mededeelen; daartoe wordt werkelijk ene grootere drukking dan bij het evenwigt vereischt en alzoo zekere arbeid verbruikt; maar zoodra de zuiger, zijne grootste snelheid bereikt hebbende, begint te vertragen, gaat het water boven den zuiger met de verkregen snelheid voort en zou dezen verlaten, indien de drukking van den dampkring en de zwaartekracht die beweging niet eveneens vertraagden; evenwel drukt nu het water met minder vermogen op den zuiger, dan in den stand van het evenwigt, en geeft den arbeid terug, die bij den aanvang der beweging gebruikt is om de verkregen snelheid mede te deelen. Bleef dus al het opgebragte water op den zuiger, zonder door de uitlooppijp te ontwijken, dan zou er volstrekt geen verlies aan arbeid voor het mededeelen der beweging bestaan, dewijl, volgens §§ 212 en 213 der Dynamica, er evenveel arbeid verkregen wordt, wanneer eene massa eene zekere snelheid verliest, als er noodig is om aan die massa die snelheid mede te deelen. Doch een gedeelte water is uit de pijp geloosd of weggevloeid en behoudt de verkregen snelheid, zoodat de hiertoe vereischte arbeid verloren gaat; zooals ook in de formule van § 291 is in rekening gebragt.

De drukking van den dampkring die het water in de zuigpijp naar boven drijft, moet ook eenigen arbeid leveren om dit water de vereischte snelheid te geven; het overblijvende alléén werkt de drukking van den dampkring op de bovenzijde van den zuiger tegen, doch daardoor heeft dit water, op het oogenblik dat de zuiger nederwaarts gaat, snelheid verkregen, waarmede het nu het water in de pompbuis naar boven drijft, zoodat de zuiger bij het opwaarts gaan eene mindere snelheid heeft mede te deelen. De arbeid door den dampkring tot het voortbrengen der snelheid in de zuigpijp verbruikt, komt dan den zuiger ten goede, zoodat ten slotte alleen de arbeid verloren gaat die aan het uitgeloosde water de snelheid geeft waarmede het de pomp verlaat.

Dezelfde redeneringen kan men gebruiken, om te bewijzen dat ook bij de perspomp geen meerder verlies aan arbeid bestaat.

§ 297. Ofschoon er dan bij de pompen geen ander verlies aan arbeid bestaat, dan onvermijdelijk door het uitgeloosde water wordt weggenomen, en er alzoo geene besparing aan arbeid verkregen wordt, indien het water in de pompen voortdurend, in plaats van met tusschenpoozen, uitstroomt, zoo kan men evenwel tot andere oogmerken een onafgebroken waterstraal uit eene pomp verlangen. Hiertoe dient dan de luchtbak of ketel, reeds in § 72 der Hydrostatica beschreven. Gewoonlijk neemt men den inhoud van den luchtbak gelijk aan vier- tot zesmaal den inhoud van den zuigerslag. Vooral bij de brandspuiten, alwaar een onafgebroken waterstraal nuttig is, worden zulke luchtbakken aangebragt, terwijl men tevens bij die soort van pompen, in Fig. 77 voorgesteld, twee pompbuizen heeft, waardoor de beweging nog eenpariger wordt.

Men heeft ook wel pompen met twee zuigers in dezelfde pompbuis, waarvan de eene opgaat, als de andere nederwaarts gaat; doordien de zuiger dan meestal niet juist in zijn middelpunt gedrukt en getrokken wordt, heeft er meerdere wrijving en wringing plaats, dan bij de gewone zuigers; evenwel kan die zwarigheid ontweken worden (1).

§ 298. In vergelijking der schepraders en vijzels, hebben de pompen het voordeel van het water op veel grootere hoogten te kunnen brengen, dan door eerstgenoemde mogelijk is. De schepraderen en vijzels hebben daarentegen het voordeel van de aanzienlijke wrijving, die de zuigers in de pompen veroorzaken, geheel te ontwijken; doch daartegen staat over, ten voordeele der pompen, het vermijden der botsingen van de schoepen, vooral bij het staande scheprad. Bij de hellende raderen zijn die botsingen minder, en bij de vijzels bestaan zij in het geheel niet. Er valt dan wel niet aan te twijfelen, dat dáár waar het gebruik der vijzels mogelijk is, zij boven alle overige toestellen tot het opbrengen van water, de voorkeur verdienen.

ZAAGMOLENS.

§ 299. Het gereedmaken van balken en planken uit boomstammen, kan in het algemeen door het weghakken van het

(1) Een vernuftig uitgedacht toestel van A. de Caligny, om zonder kleppen water in een buis te doen rijzen, vindt men beschreven in de *Comptes rendus* 6e *Février* 1852, p. 174.

vertollige hout met dissel of bijl geschieden; hierbij ontstaat echter een zeer aanmerkelijk houtverlies. Is dan het hout kostbaar in vergelijking van het arbeidsloon, dan verkiest men het gebruik van de zaag, omdat dan uit denzelfden stam meer dan eenen balk, planken en latten te verkrijgen zijn. Hier te lande, alwaar het meeste timmerhout van buiten 's lands wordt aangevoerd en dus vrij kostbaar is, wordt de zaag algemeen gebruikt om uit de ruwe stammen het verlangde hout te zagen; en daar de arbeid van den wind of van het water veel goedkooper is dan die van menschen, zoo heeft men hier te lande al zeer vroeg den door wind gedreven zaagmolen in gebruik gebragt.

§ 300. In de zaagmolens wordt meestal de zaag door de beweegkracht in eene verticale rigting op- en neêrbewogen, en in denzelfden tijd het hout tegen de zaag aangedreven; de zaag werkt dus alleen in het nedergaan en niet in het opgaan. Men heeft in later' tijd ook cirkelvormige zagen gebruikt, die voortdurend en niet afwisselend werken; wij zullen op deze laatste soort later terugkomen, doch eerst de hier te lande veel gebruikt wordende zaagmolens met op- en neêrgaande zagen, kortelijk beschrijven.

De zaag of zagen, dewijl er meestal meer dan éene gebruikt wordt, zijn gespannen in een raam, in verticale sleuven heen en weêr bewegende, waartoe het bij de windmolens aan eenen zoogenaamden *Weiffelaar* of *Kolderstok* *BC* (Fig. 78ª) is verbonden; deze wordt op- en neêrbewogen door eene horizontale as *GH*, van bogten voorzien. Aan deze as in een schijfloop verbonden, door het bovenrad der molens rondgedreven. Meestal zijn er drie of vier zulke ramen, ieder door eene bogt in de horizontale as bewogen. Het vlak van elk der bogten maakt met dat der overige gelijke hoeken, opdat, wanneer de ramen even zwaar zijn en evenveel arbeid verrigten, de last zooveel mogelijk gelijkmatig op de as verdeeld blijve, hetwelk voor den regelmatigen gang des werktuigs voordeelig is. Als er slechts twee zaagramen zijn, dan heeft men nog een derde raam *PQ*, onder den naam van *pompraam*, dat door zijn gewigt den regelmatigen gang bevordert.

De zaagramen zijn meest zoo zwaar, dat zij door hun gewigt alléén de zaag door het hout drijven; het eigenlijk vermogen der beweegkracht dient dan enkel, om het raam met de daarin gespannen zagen op te ligten, terwijl de zwaartekracht de zaag

doet werken. In de groote zaagmolens wegen de ramen nagenoeg 2000 pond en bevatten tot 20 zagen.

§ 301. De zagen alleen door het gewigt van het raam werkende, zoo behoeft de weiffelaar of kolderstok alleen te ligten, zonder bij het nedergaan eenige drukking uit te oefenen, hetgeen voor het geregeld zagen voordeelig schijnt, want die drukking, wegens de achtervolgende verschillende standen der bogt in de as, zijdelings of uit het vlak van het raam werkende, zou bij eenige speling van het raam in de sleuven, eene onregelmatige beweging aan de zagen geven, nadeelig voor de zuiverheid der zaagsnede.

Gewoonlijk bedraagt de pijl der bogt in de as die de ramen beweegt, nagenoeg 25 duim, zoodat het raam telkens eene halve el doorloopt. De lengte der zagen regelt zich naar de dikte van het hout, moetende het getand gedeelte van het zaagblad de hoogte der zaagsnede en eene halve el daarbij tot lengte hebben. De zaagtanden worden een weinig bij afwisseling regts en links, uit het vlak van het blad gebogen, hetwelk men *zetten* noemt, doch altijd minder dan de dikte van het blad bedraagt, dewijl men anders geene behoorlijke zaagsnede zou verkrijgen. Het snijdend gedeelte der tanden wordt schuin afgevijld; hunne juiste gedaante hangt af van de houtsoort en van de zaagsnede die men verlangt. De zaagbladen worden in het raam gespannen, om het buigen en breken voor te komen.

§ 302. Het hout wordt tegen de zaag gebragt, door eene voorwaarts bewegende slede *LM*, werkende door een rondsel op eene getande staaf, langs de geheele lengte onder het midden der slede aangebragt. Dewijl de slede in vergelijking der zagen slechts langzaam moet voortgaan, zoo is aan het rondsel verbonden een zoogenaamd *krabbelrad AB* (Fig. 78^b), in welks tanden een gevorkt *krabbelijzer ab* vat, hangende aan eenen hefboom *dc*, *palstok* genoemd; deze hefboom beweegt op en neêr door de beweging van het raam, waaraan het bij *d* is verbonden. Bij het opgaan haalt het krabbelijzer telkens het rad een weinig om, en wel meer of min, naarmate, bij denzelfden gang van het raam, de hefboomsarm *bc* langer of korter is in vergelijking van het gedeelte *dc;* eene pal *e* belet het achteruitgaan van het krabbelrad bij het nedergaan van het raam. Gedurende het vatten der zaagtanden, blijven dus de slede en het hout in rust. Naarmate van de zwaarte en den meer of minderen tegenstand van het hout,

doet men de slede meer of minder langzaam voortgaan, door den palstok te *versteken*, waartoe gaten, bij *b* aangebragt, gelegenheid geven. Men rekent dat de verschillende houtsoorten als volgt moeten gerangschikt worden, met betrekking tot de moeijelijkheid van zagen, beginnende met de moeijelijkste: Greenen, Eiken, Iepen, Essen, Beuken, Dennen; beide laatste soorten staan bijna gelijk; blijkbaar heeft de graad van droogte van het hout grooten invloed.

Somtijds is er op het krabbelrad een tweede rad van minder middellijn verbonden, ten einde de beweging der slede te versnellen, wanneer men het krabbelijzer er op doet werken. Eene kruk aan de as van het krabbelrad geeft gelegenheid om de slede uit de hand, achter- of voorwaarts te bewegen.

Meestal is er in de zaagmolens nog een krabbelrad *C* aangebragt, verbonden aan een windas en kraan, waardoor men het hout van buiten den molen naar binnen tegen eene helling opsleept.

§ 303. Volgens waarnemingen van Gerstner (1) zou de voordeeligste snelheid der zagen op nagenoeg 2 el in de seconde kunnen gesteld worden; bij de windzaagmolens doen de zagen een open neêrgang op eene halve omwenteling der molenas; of naauwkeuriger gezegd, de as waaraan de kolderstokken hangen gaat 2,1 à 3 maal rond, voor één omgang der molenas. Bij eene snelheid van 60 enden in de minuut, nagenoeg de grootste snelheid waarmede de zaagmolens werken, geeft dit 31,5 à 45 op- en neêrgangen in de minuut, waarin dus de zaag omtrent ook 31,5 à 45 ellen in de minuut, en alzoo slechts 0,5 à 0,75 el in de seconde aflegt; merkelijk minder dan door Gerstner wordt opgegeven.

Volgens waarnemingen van Morin (2) kan men, met eenen arbeid van 14 960 pond op 1 el op eene zaag uit te oefenen, 0,0488 vierkante el eikenhout doorzagen, gaande daarbij de zaag 88 maal in de minuut heen en weer; het raam waarin de zaag gespannen was woog 383 pond; deze arbeid komt overeen met 306 150 eenheden op de vierkante el. Bij eene andere waarneming op denzelfden molen, waren er vier zagen in het raam gespannen, makende 79 gangen in de minuut; hierdoor werden 0,161 vierkante el eikenhout doorgezaagd en daarbij 16 620 arbeidseenheden

(1) *Handbuch der Mechanik*, II. 436.
(2) *Aide-mémoire*, p. 291.

verbruikt, zoodat het zagen eener vierkante eenheid zou vereis
103 160 eenheden. Er werd alzoo driemaal meer werk met d
zelfden arbeid verrigt; een bewijs dat verreweg het grootste
deelte van den arbeid gebruikt werd om het raam met de z
te ligten; snijdende de zagen alleen door het gewigt van het r
bij het nedergaan.

Bij eene derde waarneming, met vier zagen in het raam, al
de zagen 90 maal in de minuut op- en neêrgingen, werd er 0,
vierkante el doorgezaagd met 20 220 eenheden, overeenkom
met 154 350 eenheden op de vierkante el; eene grootere snel
verbruikt dus hier meer arbeid tot het verrigten van hetz
werk. Eindelijk gaf eene vierde waarneming met eene zaag,
kende 88 heen- en weêrgangen in de minuut en zagende in e
eikenhouten cilinder van 60 duim middellijn, 0,09 vierkante
met eenen arbeid van 13 500 eenheden, overeenkomende
150 000 eenheden op de vierkante el.

Volgens eene opgave van Gerstner (1) zou men, uit het ge
delde van eenige waarnemingen bij watermolens, voor het z
van eene vierkante el dennenhout kunnen nemen 344 330
beidseenheden; doch het blijkt niet duidelijk hoeveel arbei
het waterrad zelf verloren ging. Als middelgetal, zal men
het zagen van eene vierkante el eikenhout nagenoeg 150 000
heden kunnen nemen. Latere waarnemingen geven voorde
uitkomsten; volgens den Ingenieur Coste (2), vereischt het
gen van een vierkante el droog eikenhout, bij de waterm
te Metz, 61 500 eenheden. — Armengaud (3) geeft voor het
van 0,075 vierkante el dennenhout 60 à 90 000 eenheden,
wijl de waarnemingen van Morin (4) voor eikenhout ong
75 000, Esschenhout 74 000, Iepen 90 000, Populieren 6
op de vierkante el gaven.

In de groote zaagmolens hier te lande kan men, wanne
door eenen sterken wind gedreven worden en nagenoeg 60
in de minuut gaan, 45 zagen, op eikenhout zwaar 40
doen werken, en alsdan in een uur eene lengte van 5 el

(1) *Handbuch der Mechanik*, II. p. 537.
(2) *Etudes sur les machines*, p. 70.
(3) *Publication industrielle*, III. 174.
(4) *Leçons de Mécanique*, I. 67.

e oppervlakte van 90 vierkante ellen of 1,5 vierkante
minuut. Zulk een molen kan dan in eene minuut een'
n 1,5.150 000 = 225 000 arbeidseenheden opleveren, of
doen van $\frac{225\,000}{4500} = 50$ paardenkracht. De hierbedoelde
ebben roeden van 22 à 23 ellen vlugt, alzoo elke wiek
à 11,75 el; de breedte der zeilen, windborden en wiek
te zamen omtrent 2,15 el, op eene lengte van 9,5 el;
totale oppervlakte voor de werking van den wind over
vieken 81,70 vierkante ellen beloopt. Deze oppervlakte
ijk minder dan van de groote watermolens, in § 58 aan-
Bij gelijke windsterkte moesten dus de zaagmolens min-
d verrigten; terwijl het tegendeel zou blijken uit de
ng van den arbeid in § 260 berekend. Want volgens
u een watermolen, bij eene snelheid van 60 enden, of-
rootere oppervlakte van zeilen enz. hebbende, slechts
d van 1334 in de seconde, en dus in de minuut 80 040
terwijl de zaagmolen alsdan 225 000 eenheden geeft;
taande de wind, die den zwaarderen watermolen eene snel-
60 enden geeft, voorzeker sterker moet zijn dan die de-
elheid bij den zaagmolen voortbrengt. Waarschijnlijk is
oeveelheid van 150 000 arbeid op de vierkante el te
1 zal, zooals uit de waarnemingen van Morin volgt, de
er waarde nader aan de waarheid komen. De snelheid
nden in de minuut, is de grootste die men bij de zaag-
elaat. Men rekent dat een' zaagmolen gemiddeld slechts
van den tijd met zulk een' gunstigen wind werkt; zoodat
enoeg het werk van eenen grooten zaagmolen hoogstens
n stellen met dat van een werktuig van 25 paarden-
(1).

Bij rondgaande cirkelvormige zagen, kan men het zaag-
eene horizontale as bevestigen, die as door een rad met
nwiel van den windmolen verbinden, en onmiddellijk de
beweging verkrijgen. Het vooruitgaan der slede kan
wel door het gewone krabbelrad plaats hebben, dewijl
et hout gedurende het ophalen van het krabbelijzer al-

---

(1) pgaven omtrent de zaagmolens hier te lande, zijn mij welwillend me-
loor den heer J. N. Rose, stads-architect te Rotterdam.

leen tegen de zaag beweegt; de rondgaande zaag zou dan slechts bij tusschenpoozen in het hout vatten. Verbond men daarentegen de slede met eenig raderwerk aan de molenas, even als de zaag, dan zou de slede ten opzigte der zaag altijd dezelfde betrekkelijke snelheid behouden, en alzoo somtijds te sterk tegen de zaag drukken, en somtijds niet sterk genoeg, naarmate het te zagen hout veel of weinig tegenstand bood. Door de slede met een' riem zonder einde aan de as te verbinden, en daarop schijven van verschillende middellijn te plaatsen, zooals in § 234 beschreven is, zou men de verlangde verandering in snelheid gemakkelijk kunnen verkrijgen.

§ 305. Wanneer men balken van aanmerkelijke dikte met eene rondgaande zaag wil bezagen, dan dient het blad der zaag eene groote middellijn te hebben, namelijk iets meer dan de dubbele hoogte van het door te zagen hout. De moeijelijkheid om zulke groote stalen platen behoorlijk vlak te maken en te houden, heeft aanleiding gegeven om die zagen uit verschillende segmenten op een ijzer rad vastgeschroefd, zamen te stellen. Het rad mag niet veel dikker dan de zaagbladen zijn, om niet tusschen het hout beklemd te raken. Het is hier vooral noodig, in de reeds volbragte zaagsnede, wiggen te slaan om dit klemmen te beletten; welk middel overigens ook bij de gewone zaagmolens gebruikt wordt.

De cirkelvormige zagen worden vooral gebruikt om kostbare houtsoorten tot zeer dunne bladen of tot zoogenaamd *fourneer* te zagen, waarmede de schrijnwerkers de mindere houtsoorten bekleeden. Hierbij krult of buigt de gezaagde plaat geheel rond en laat ruimte genoeg voor de zaag.

§ 306. Bij Morin (1) vindt men de volgende opgaven omtrent den arbeid door cirkelvormige zagen verrigt:

Middellijn der zaag 70 duim, gaande 266 maal rond in de minuut, zagende in dien tijd 0,18 vierkante el eikenhout, en gebruikende daartoe 15 960 eenheden, of 88 667 eenheden op de vierkante el.

Dezelfde zaag werkende op dennenhout van 25 duim dikte, zaagde in eene minuut 0,75 vierkante el, gaande 244 maal rond in de minuut, en verbruikende daarbij 33 120 arbeidseenheden

(1) *Aide-mémoire*, p. 292.

n dus 44 160 eenheden op de vierkante el. Hieruit is op te naken, dat eene rondgaande zaag met denzelfden arbeid twee- à driemaal zooveel werk verrigt als eene heen- en weêrgaande; doch men merke op, dat, ingevolge het aangemerkte in § 303, dezelfde arbeid ook welligt bij eene geringe vermindering van kracht meer dan vier heen- en weêrgaande zagen zou kunnen bewegen, en dat alsdan het verschil in vermogen gering is; want reeds bij vier heen- en weêrgaande zagen werd er slechts 103 160 arbeidseenheden per vierkante el vereischt; terwijl er bij de rondgaande zagen 88 667 eenheden noodig waren. De uiteenloopende uitkomsten omtrent den juisten arbeid tot het zagen van eene vierkante el vereischt, maken het moeijelijk hieromtrent eene juiste vergelijking te maken. Dezelfde oorzaak belet ook het juiste vermogen der windzaagmolens, met eenige naauwkeurigheid op te maken.

Bij eene fourneerzaag, dik 0,33 streep, makende eene zaagsnede van 0,6 streep en 180 maal in de minuut op- en neêrgaande, werden in een uur 5 vierkante el gezaagd, en 300 arbeidseenheden in de minuut, of 3600 per vierkante el, gebruikt. Bij het zagen van fourneer, heeft de rondgaande zaag boven de heen- en weêrgaande, het voordeel van eene juistere werking. Is de ronddraaijende volkomen loodregt op de as gesteld, dan zaagt zij volkomen in hetzelfde vlak, en levert bladen van volmaakt gelijke dikte, hetgeen bij eene heen- en weêrgaande zaag, wegens de speelruimte van het raam, niet zoo volkomen kan plaats hebben.

BUSKRUIDMOLENS.

§ 307. De bestanddeelen van het buskruid, tot de vereischte graad van fijnheid gebragt, worden ondereen gemengd en tot eene vaste zelfstandigheid bewerkt, om daarna tot korrels van bepaalde grootte gevormd te worden. Het dooreenmengen en tot vastheid brengen geschiedt op verschillende wijzen.

Hier te lande wordt dit verrigt door eenen zoogenaamden pletmolen (Fig. 79), hoofdzakelijk bestaande uit twee verticaal gestelde molensteenen E, F cilindervormig bewerkt, verbonden door eene as CD, draaijende om eene spil AB. De beide steenen, *loopers* genoemd, zijn gesteld op eenen derden steen of *ligger*. Deze

eenkomt. Een paard door middel van boomen aan de as der s
verbonden, doet de staande steenen over den ligger heendr

De fijn gemaakte bestanddeelen van het buskruid wor
behoorlijke evenredigheid, bij hoeveelheden van omtrent 1
ponden op den ligger gebragt, door het rondgaan der loop
de bijvoeging van eenig water innig vermengd en tot eene
zelfstandigheid, *Sas* genaamd, gebragt. De innige verm
geschiedt voornamelijk door de wringende beweging die de
het mengsel doen ondergaan. Deze beweging is namelij
enkel rollend, maar tevens slepend, omdat de weg door de
nenomtrek der loopers afgelegd, merkelijk kleiner is dan d
den buitenomtrek, terwijl eene volkomen rollende beweging
vereischen, dat beide wegen even groot waren. De sas wor
de wringende beweging der loopers, beter dooreengemeng
indien de steenen enkel daarover heenrolden, hoewel de
king in beide gevallen dezelfde zou wezen. Moest dus enk
gewigt der steenen werken, zooals bij het malen van steen
poeder, dan kon het welligt beter zijn, den toestel zooda
te rigten, dat er enkel eene rollende beweging ontstond;
bij het verbrijzelen de wringende beweging ook kan medew
Men zou daartoe de loopers niet cilinder-, maar kegelvormig
ten bewerken, zoodanig dat de toppen dezer kegels in het
van den ligger bijeenkwamen; doch voor het mengen van

Meestal wordt de sas op de beschreven wijze, gedurende drie drie en één vierde uur gemalen, en alsdan weggenomen om ekorreld te worden. Rekent men dat een paard op die wijze uren daags, geregeld werkende, dien arbeid op den duur kan olhouden, dan zou het bereiden van 18 ponden sas, gereed om ekorreld te worden, $^3/_8$ arbeid van een paard vereischen, of een ond sas een' arbeid van $\frac{1}{24}$ paard; en neemt men, naar aanleiding an het opgegevene in § 40, omtrent den arbeid der paarden, dat en paard in 8 uren, een' arbeid van 1 000 000 verrigt, dan zal et bereiden van een pond sas aan arbeid vereischen 20 833 arbeidseenheden; of, zoo men wil, het bereiden van een pond sas aat gelijk met het heffen van 20 833 ponden op 1 el hoogte.

Volgens eene opgave van Morin (1) heeft men onder steenen van echts 2500 pond gewigt, in twee uren 50 pond sas bereid, en aartoe in de seconde een' arbeid van 220 gebruikt; dit maakt lzoo in twee uren een' arbeid van 2.60.60.220 voor 50 pond, n dus voor één pond 31 680 arbeidseenheden; de helft meer dan e vorige opgave. Volgens andere opgaven van Morin, zou men et 162 arbeidseenheden in de seconde, in 12 uren 150 pond gtkruid bereiden; dit geeft alzoo 46 656 eenheden per pond. olgens eene andere opgave van denzelfden schrijver, kan men oor een' arbeid van 464 eenheden in de seconde, met steenen waar 5300 pond, 20 pond sas te gelijk gereed maken; de tijd aartoe besteed, afhangende van de soort van buskruid. Neemt nen, even als hier te lande, 3 uren voor dien tijd, dan geeft dit 7 840 arbeidseenheden per pond, hetgeen nader met de bereking voor de Nederlandsche molens overeenstemt.

§ 309. Behalve door de hier beschreven pletmolens, wordt de as voor het buskruid op verschillende andere wijzen bereid; nder anderen door middel van stampers. In de stampmolens beinden zich een of twee rijen potten; in elken pot wordt ongeveer tien ponden sas gedaan; alsdan laat men de stampers, die ngeveer elk 40 ponden wegen en eene valhoogte van 4 à 5 palm ebben, op de mengsels in de potten werken, wordende het mengsel an tijd tot tijd bevochtigd en tot betere ondereenmenging, bij ezette tusschenpoozen, van den eenen pot in den anderen gebragt. De stampers doen gewoonlijk 50 à 60 slagen in de mi-

(1) *Aide-Mémoire de Mécanique*, p. 306 en 307.

nuut en het sas is, na ongeveer elf uren onder de stampers te zijn geweest, behoorlijk bereid en geschikt om gekorreld te worden. Ingevolge de opgaven, voorkomende in de meermalen aangehaalde *Aide-Mémoire* van den kapitein Morin, wordt in eenen kruidmolen te Metz, door elken stamper van 40 pond, die telkens 0,413 el geligt wordt en 55 slagen in de minuut doet, in elf uren tijds 10 pond buskruid bereid. De arbeid, vereischt om 40 pond op 0,413 te heffen, is 16,52, en er wordt dus in de minuut een arbeid van 908,6 vereischt, of wel in elf uren 599 676, alzoo voor de bereiding van één pond sas 59 967,6 arbeidseenheden; iets meer dan de dubbele hoeveelheid bij een' pletmolen; ofschoon het niet blijkt dat het op deze wijze vervaardigde buskruid beter is.

§ 310. Het verschil tusschen den arbeid bij eenen stampmolen, in vergelijking van den pletmolen, is hoofdzakelijk gelegen in de minder voordeelige wijze, waarop de stamper werkt tot het mengen der stoffen. Indien de stamper enkel op de stoffen nederviel, zooals het geval zoude zijn indien de pot eene cilindervormige ruimte vormde van weinig grooter middellijn dan de stamper, dan zou er alleen zamendrukking, zonder menging plaats hebben; doch door den uitgeholden vorm, in Fig 80^b voorgesteld, wordt bij elken slag, de stof zijdelings uitgeperst en daardoor de menging der deelen bevorderd; terwijl daarenboven tot hetzelfde einde, ten minste van uur tot uur, het sas uit den eenen pot in een' volgenden wordt overgebragt. Bij den pletmolen, daarentegen, mengt de wrijvende beweging van de loopers over den ligger, de stoffen veel beter ondereen.

Behalve het verlies, door de minder spoedige menging veroorzaakt, is er, zooals bij alle werktuigen met stampers, een verlies aan arbeid, voortvloeijende uit de botsingen der vuisten tegen de nokken der stampers, waardoor bij elke aanraking van een' vuist met den stamper een gedeelte arbeid verloren gaat. Wij zullen dit verlies bij de botsing berekenen, als een voorbeeld van dergelijke berekeningen bij andere werktuigen. In § 236 der Dynamica is de algemeene formule ontwikkeld, waaruit het verlies bij de botsing kan berekend worden; namelijk de formule:

$$Rs - Rs' - \frac{v^2 \cos^2 \beta}{2g} Q;$$

waarin:

$$Rs = \frac{C^2Mn^2d}{2g\,(d-m)r^2} \text{ en } Rs' = \frac{v^2Mn^2d}{2g(d+m)r^2}$$

s; zijnde verder: Mn^2 het moment van traagheid der as waaraan de vuisten bevestigd zijn,

C de snelheid van het eind der vuist op het oogenblik van hare botsing tegen de nok,

d de afstand waarop, uit het midden der as, de kracht werkt die de as doet draaijen; alzoo de straal van den steekcirkel van het rad verbonden aan de as, die de werking der bewegende kracht ontvangt,

g de versnelling van de zwaartekracht,

m de straal van den wrijvingscirkel van de tappen der as,

r de afstand van het uiteinde der vuist tot het midden der as,

v de snelheid na de botsing,

β de hoek van de rigting der botsing met een verticale lijn; en Q het gewigt van den stamper.

De snelheid v na de botsing wordt berekend uit de formule:

$$v = \frac{CMn^2 \sin(\varphi - \mu)}{(r\cos(\beta-\mu)+m)\,rQ\cos\beta\sin\varphi + Mn^2\sin(\varphi-\mu)};$$

waarin φ een hoek voorstelt uit den vorm van den geheelen toestel af te leiden, en μ den wrijvingshoek van den stamper in de zijstukken, waardoor hij in verticale rigting wordt gehouden.

Om echter in geen te zamengestelde berekeningen te vervallen, zullen wij de uitwerking der wrijving buiten rekening stellen, en alzoo μ en $m = 0$ nemen; stelt men daarbij $\beta = 0$, dat is: rekent men de botsing van elken vuist te beginnen, wanneer hij in den horizontalen stand is gekomen, dan hebben wij:

$$Rs = \frac{C^2Mn^2}{2gr^2},\ Rs' = \frac{v^2Mn^2}{2gr^2},\ \text{en } v = \frac{CMn^2}{Mn^2+r^2Q};$$

waaruit men vindt:

$$Rs' - Rs - \frac{v^2Q}{2g} = \frac{C^2Mn^2Q}{2g\,(Mn^2+r^2Q)}.$$

Daarenboven is de massa van de as in vergelijking van die der stampers zeer groot; men zal dan wel zonder grooten misslag r^2Q

in vergelijking van Mn^2 mogen verwaarloozen, waardoor het verlies wordt $\frac{C^2Q}{2g}$. Eene merkwaardige uitkomst, aanwijzende, dat wanneer men de uitwerking der wrijving verwaarloost, en de as die de stampers ligt, zeer zwaar is in vergelijking der stampers, het verlies aan arbeid, bij de botsing, gelijk is aan den arbeid die den stamper de snelheid kan geven waarmede hij door de as ontmoet wordt.

Stelt men als voorbeeld $Q = 40$ en $C = 0{,}55$ el, overeenkomende met de snelheid van het einde der vuisten, als er 55 slagen in de minuut plaats hebben, dan vindt men voor het verlies van elken slag 0,62 arbeidseenheden en dus voor eenen molen van 24 stampers, doende 55 slagen in de minuut, 818,4 arbeidseenheden in de minuut; zulk een molen werkt, volgens Morin, met omtrent 9 paardenkracht, waarvan dus omtrent 0,2 paardenkracht bij de botsing der vuisten verloren gaat.

§ 311. De vergelijking van de werking der pletmolens met die der stampmolens, kan als voorbeeld dienen van het verschil dat eene zelfde beweegkracht of een zelfde arbeid leveren kan, naarmate het zamenstel, waardoor de nuttige arbeid verrigt wordt, meer of min doeltreffend is ingerigt. De hier te verrigten arbeid bestaat in het innig vereenigen en gelijkmatig verdeelen der bestanddeelen van het buskruid, zoodat de voortgebragte sas eene zooveel mogelijk gelijksoortige stof oplevere, bevattende in elk van hare deelen dezelfde betrekking tusschen de drie oorspronkelijke bestanddeelen. Dit wordt verkregen door de drie bestanddeelen dooreen te mengen en te zamen te drukken. Bij den pletmolen wordt de zamendrukking door het gewigt der steenen of loopers voortgebragt, dewijl dit gewigt, op eene kleine oppervlakte drukkende, aldaar eene sterke zamendrukking voortbrengt. De vermenging wordt verkregen door de reeds in § 307 beschreven, wringende beweging der steenen om den verticalen staander, die niet zou verkregen worden, indien de loopers kegelvormig waren bewerkt, of indien de cilindervormige loopers eene regtlijnige beweging hadden.

De stampers oefenen bij het nedervallen ook eene sterke drukking op de bestanddeelen van het buskruid uit, doch de vermenging wordt alleen verkregen door het zijdelings uitwijken der deelen, die bij het ligten van den stamper weder terugvallen, en

zich bij den volgenden slag met de nevenliggende deelen vermengen; het gedeelte evenwel, juist onder den stamper liggende, wordt wel zamengedrukt, maar indien aldaar de vermenging niet behoorlijk is, zal zij dit door het stampen ook niet worden; een gedeelte der sas wordt dus eigenlijk niet gemengd, en het is alleen door van tijd tot tijd den stamper te doen stilstaan, de stof uit den bodem naar de zijden te brengen, en voornamelijk door het geregeld overbrengen der sas uit den eenen pot in den anderen, dat de menging meer volkomen wordt. Het stampen is dus hier een zeer onvolkomen middel tot menging der stoffen; van daar de veel grootere tijd die de sas onder de stampers blijft dan onder de loopers der pletmolens, en de meerdere arbeid der stampmolens.

PLETWERKEN EN HAMERS.

§ 312. Een ander voorbeeld van het voordeel om de botsingen in werktuigen te ontwijken, vindt men bij de bewerking van het ijzer, alwaar de arbeid verrigt kan worden door pletmolens of door hamers.

Bij de bewerking van het ijzer moet namelijk de stof, zooals die uit het smeltend erts voortkomt, tot eenen merkelijk grooteren graad van digtheid gebragt worden. Dit kan men verkrijgen door het ijzer gloeijend onder eenen zwaren hamer te brengen en dezen daarop eenigen tijd te doen werken; of wel, men kan het gloeijend ijzer tusschen twee ronddraaijende cilinders doen vatten, die, het ijzer klemmende, het ineendrukken en alzoo de vereischte digtheid geven. De laatste bewerking, alle botsing ontwijkende, is veel voordeeliger, zooals de ondervinding sedert lang geleerd heeft.

Het voordeel der cilinders boven de hamers, heeft aanleiding gegeven om ook bij het smeden van het ijzer, waardoor het tot staven van onderscheidene afmetingen gevormd wordt, cilinders in plaats van hamers te gebruiken.

De Fig. 81 stelt eenen zwaren hamer voor, zooals die bij het smeden van ijzer gebruikt wordt. De hamer DE wordt geligt door eene as, waaraan vuisten A, A', A'' verbonden zijn; de vuisten kunnen volgens de ontwindende van den cirkel, zooals in § 214 is verklaard, gevormd worden. Het wrijvend gedeelte

der vuisten werkt tegen een verstaald gedeelte B, dat, zooals de Figuur aanwijst, aan den hamer geschroefd is en naar goedvinden kan vernieuwd worden; de vuisten kan men eveneens bekleeden. De hamer draait bij E om eene horizontale as, die merkelijk langer is dan de breedte van den hamer, zoodat de horizontale projectie van den eigenlijken hamersteel, den vorm eener T heeft; hierdoor wordt het zijdelings kantelen belet. Deze as is overigens door twee ijzeren stroppen cd op een zwaar ijzer gestel FG bevestigd. Aan den kop D is een afzonderlijk verstaald gedeelte H met wiggen verbonden, dat naar vereisch van den arbeid kan verwisseld worden.

Zoodra de plaats van het zwaartepunt van den hamer bekend is, alsmede de hoogte ab waarop de vuist den hamer bij B ligt, zal men de hoogte bepalen kunnen, waarop dit zwaartepunt bij elken slag wordt geheven, en alzoo den daardoor voortgebragten arbeid kunnen berekenen. Ten einde de as E zoo weinig mogelijk aan botsingen bloot te stellen, moet volgens § 194 der Dynamica, het blok H zoodanig geplaatst worden, dat de botsing juist in het *middelpunt van botsing* plaats hebbe, dat is: de afstand HE moet gelijk zijn aan het quotient van het moment van traagheid des hamers, ten opzigte van het punt E, door het product van den afstand van zijn zwaartepunt tot E met het gewigt van den hamer. Indien men den hamer van het gestel FG afneemt, aan de as E ophangt en vrijelijk doet slingeren, dan zal aan de genoemde voorwaarde voldaan zijn, indien de kleine slingeringen van den hamer evenlang duren als die van een gewigt aan een koord ter lengte van HE opgehangen. Het is van belang aan deze voorwaarde te voldoen, daar anders de bevestiging bij E spoedig vernield wordt.

§ 313. De snelheid aan den hamer bij het ronddraaijen medegedeeld, kan men berekenen door middel der formulen van § 197 der Dynamica; uit die snelheid en uit de overblijvende snelheid der as, zal men voor het verlies aan arbeid, door de botsing veroorzaakt, vinden:

$$\frac{n^2 P n'^2 Q}{l'^2 n^2 P + l^2 n'^2 Q} \cdot \frac{C^2}{2g};$$

waarin n^2P het moment van traagheid der as, waar de vuisten werken, voorstelt, n'^2Q dat van den hamer, C de snelheid van

het aanrakingspunt tusschen vuist en hamer op het oogenblik der botsing, l en l' de afstanden OB en EB van het aanrakingspunt tot de middelpunten waarom de vuisten en den hamer draaijen. Is er, zooals gewoonlijk, een drijfrad aan de as verbonden, dan rekent zijne massa mede onder die der as. In zulk een geval kan men meestal het moment van traagheid des hamers, in vergelijking van die der as met het drijfrad, verwaarloozen en dan wordt het verlies:

$$\frac{n'^2QC^2}{2gl'^2}.$$

§ 314. In Fig. 82 zijn de cilinders voorgesteld, waardoor men het ijzer in plaats van met hamers tot staven vormt. De cilinders draaijen met hunne tappen a in twee zware ijzeren gestellen F en G; buiten de gestellen F en G zijn de cilinders verlengd, en aldaar verbonden aan getande raderen I en K die in elkander vatten; zoodat, wanneer door de eene of andere bewegingskracht, één dezer raderen wordt rondgedraaid, de andere die beweging volgt. Bij L zijn schuiven aangebragt die het verlengde des cilinders verbinden aan de assen der getande raderen; zij kunnen aldaar eene geringe speling toelaten, zoodat de cilinder bij a iets op- of neêrbewogen kan worden, zonder de werking der getande raderen te belemmeren. De bovenste cilinder wordt door middel van twee sterke schroeven M neêrgedrukt, om niet uit te wijken, wanneer het ijzer in de groeven tusschen de cilinders te zamengedrukt wordt. De cilinder wordt tegen de schroeven M aangedrukt, door gewigten N aan hefboomen werkende, en die de tappennen van den cilinder naarboven drukken. De cilinder is van groeven voorzien, die met de overeenkomstige van den cilinder CI het ijzer tot vierkante staven vormt; de dwarsdoorsnede der openingen wordt van I naar C gaande, kleiner, om daardoor langzamerhand de staaf op de vereischte maat te brengen. De groeven bij I dienen om het ijzer tot platte staven te vormen; de volgende openingen worden ook, van C naar I gerekend, hoe langer hoe kleiner.

De aanzienlijke drukkingen, die de cilinders en tappen ondergaan, vereischen eene bijzonder stevige inrigting van den geheelen toestel, zooals dan ook uit de Figuur te zien is.

De Fig. 83 vertoont twee cilinders, waartusschen het ijzer tot platen geplet wordt.

WERKTUIG TOT HET DRIJVEN VAN GATEN IN PLATEN.

§ 315. Bij het vervaardigen van stoomketels, en bij veel andere toestellen, is het verbinden van platen door middel van klinkbouten noodzakelijk, zoodat daarvoor soms duizende gaten moeten gemaakt worden; dit spoediger dan met de gewone boor te verrigten is alzoo eene zeer wenschelijke zaak. Tot dat einde gebruikt men thans het werktuig in Fig. 84 afgebeeld.

Het bestaat hoofdzakelijk uit een' zwaren ijzeren hefboom AB, in C om eene as draaijende; aan het einde A is door een scharnier IA een naauwkeurig bewerkt prisma F verbonden, sluitende beweegbaar in eenen koker E, zoodat het prisma niet anders dan juist op en neêr door dien koker kan bewegen. De stalen stempel of drevel F in dit prisma bevat, treft dan juist altijd het kussen G in hetzelfde punt en vult eene opening daartoe aldaar gemaakt. Brengt men eene ijzeren plaat op het kussen, en wordt de drevel met de vereischte kracht nedergedrukt, dan drijft hij een gat in de plaat en stoot het weggedreven ijzer, door de opening in het kussen, naar buiten. In den strop AI is eene ovaalvormige opening a, eenige speling aan de daardoor gestoken spil latende, zoodat wanneer er tusschen den onderkant van den hefboom en den bovenkant van het prisma geen vreemd ligchaam gebragt wordt, de drevel F niet werkt, en alleen dan een gat drijft in I, wanneer men tusschen de opening bij a, met eenige kracht een daartoe ingerigt ijzer brengt, op het oogenblik dat de drevel zal treffen. Men kan dus naar goedvinden den drevel al dan niet laten werken, naarmate zulks noodig is; men heeft daardoor den tijd om de ijzeren plaat juist te plaatsen, of wel om den drevel de vereischte snelheid tot het doorbooren te geven, door den hefboom vooraf een paar malen op en neêr te doen bewegen.

De staart B van den hefboom wordt opgeligt door eene rol K of L aan de einden van eenen hefboom KL, aan het rad H verbonden; terwijl dit rad door een rondsel P wordt gedreven, dat zijne beweging ontvangt door eene daaraan verbonden kruk N.

Op de as van rondsel P is een drijfrad M aangebragt, opdat de snelheid van de as des rondsels geen te groote afwisseling zou ondergaan. Het rondsel gaat namelijk meer dan eenmaal rond vóór dat de drevel werkt, en zou dan, vóór dat de hefboom eenigen tegenstand ontmoet, eene aanzienlijke versnelling, en ge-

durende het werken van den drevel of de vorming van het gat, eene niet minder groote vertraging ondergaan. Niet alleen zouden hierdoor nadeelige botsingen voor het werktuig plaats hebben; maar daarenboven zou de arbeider op de kruk, wanneer die snel beweegt, eene zeer geringe drukking uitoefenen. De arbeid op de kruk overgebragt, zou dan te klein kunnen worden om de vereischte uitwerking te leveren. Door het aanbrengen van een voerwiel wordt de versnelling, gedurende den tijd dat de drevel niet stoot, beperkt, evenzoo als de vertraging tijdens de drevel tegenstand ontmoet. De botsingen worden vermeden en de arbeider aan de kruk kan bij voortduring eene standvastige drukking uitoefenen. Hier heeft alzoo het geval plaats in § 241 aangewezen, dat door het aanbrengen van een voerwiel een arbeid verkregen wordt, die zonder dat met dezelfde beweegkracht niet te verkrijgen is.

§ 316. Om de kracht te bepalen, vereischt om met dit werktuig gaten te boren, dient men in de eerste plaats den wederstand te kennen dien de drevel ondervindt, wanneer hij een gat van gegeven middellijn in eene plaat drijft. Blijkbaar moet de drevel den zamenhang van het ijzer over de geheele oppervlakte van het afgescheurd gedeelte overwinnen, en daartoe eerst eenige uitrekking tusschen de van elkander gescheurde deelen voortbrengen; de grootte van die uitrekking, vermenigvuldigd met de uitgeoefende kracht, is dan eigenlijk de arbeid vereischt tot het maken van het gat. Dewijl men echter omtrent de grootte dier uitrekking moeijelijk iets met zekerheid kan bepalen, zoo moeten we ons alleen met opgaven, uit waarnemingen afgeleid, vergenoegen (1).

§ 317. Twee arbeiders aan de kruk van zulk een werktuig, kunnen 900 gaten van anderhalven duim middellijn in eene ijzeren plaat van 1 duim dikte drukken, in den tijd van een uur. Dit maakt alzoo 450 gaten per man; rekent men nu, ingevolge de opgave van § 37, den arbeid van een man aan eene kruk op 472 800 arbeidseenheden, dan geeft dit 384 eenheden voor elk gat; zoodat het drijven daarvan gelijkstaat met het heffen van

(1) Deze opgaven, alsmede de beschrijving van het werktuig zelf, zijn mij welwillend door den heer Hoofd-Ingenieur bij de marine, J. W. L. van Oordt, medegedeeld.

384 pond op 1 el hoogte. Bij sterke inspanning, kan er echter voor korten tijd veel meer arbeid geleverd worden; zoo werden bij eene waarneming 25 gaten in de minuut gedreven, hetgeen op 1500 in het uur nederkomt, doch zulk een arbeid kon niet langer dan een vierde uur worden volgehouden.

Beschouwt men het werktuig in geregelden gang, waarbij de middelbare snelheid der kruk, en dus ook die van de overige deelen, dezelfde blijft, dan moet de wederstand van den drevel bij het boren, benevens die van de wrijving der bewegende deelen, den arbeid, door de bewegende kracht op de kruk uitgeoefend, juist verbruiken. Daar echter de drevel slechts gedurende een gedeelte van zijne beweging tegenstand ontmoet, namelijk alleen voor zoover hij door de plaat dringt, zoo kan die tegenstand daarom des te grooter wezen. Gesteld bijvoorbeeld, er zij geen andere tegenstand dan die eener plaat van een duim dikte, dan zou die wederstand $384.100 = 38400$ pond bedragen.

§ 318. Ten einde den invloed van het drijfrad bij dit werktuig te kunnen nagaan, zoo moeten wij bepalen, hoeveel maal de krukarm rondgaat als de drevel eens is heen- en weêrgegaan, en hoe groot de weg is, alsdan door den drevel afgelegd.

Het rondsel bevat 11 tanden, en het rad waaraan de kleine hefboom KL is bevestigd 48; daar nu voor eene halve omwenteling van het rad, de drevel eens is heen en weêr geweest, zoo heeft dit ook plaats bij $\frac{24}{11}$ omwentelingen van het rondsel of van den krukarm. De langste arm van den grooten hefboom is lang 1,83 el en de kortste 0,15, en daar de kleine hefboom KL armen van 0,23 el lengte heeft, zoo zal voor eene halve omwenteling van het rad de uiterste punt van den langen hefboomsarm 23 duim en de kortste $\frac{23.15}{183} = 1,9$, of nagenoeg 2 duim in verticale rigting afleggen. De drevel zal dan, bij het boren van platen van 1 duim dikte, slechts op een vierde gedeelte van zijnen weg tegenstand ontmoeten. Stellende de lengte van den krukarm op 42 duim, dan zal de doorgeloopen weg van het aangrijpingspunt der kracht in $\frac{24}{11}$ omwenteling, bedragen 575,7 duim. De uitgeoefende drukking door den drevel is dus 575,7 maal grooter dan die op den krukarm; is deze alzoo 10 pond, dan

ceft de drevel 5757 pond gemiddeld uitgeoefend. Het is echter lijkbaar, dat als de drevel bijv. halverwege in de plaat is gerongen, de tegenstand aanmerkelijk minder bedraagt dan bij en aanvang', dewijl om zoo diep in te dringen, de zamenhang ier ijzerdeelen, over de geheele dikte der plant, grootendeels moet verwonnen zijn; bij het begin der werking van den drevel kan lan de drukking zelfs eenige malen die van 5757 pond, overreffen.

Het drijfwiel bij het hier beschouwde werktuig, heeft eene middellijn van 2 el, gemeten uit het midden der velgen, en weegt nagenoeg 400 ponden. Zij nu K de drukking op den krukarm, waarvan de lengte a is, dan zal die kracht in den tijd ∂t eene hoekversnelling ∂v op het drijfrad voortbrengen, aangewezen door de vergelijking:

$$\partial v = g \frac{aK}{Mm^2} \partial t,$$

waarin Mm^2 het moment van traagheid van het drijfwiel voorstelt (Dynamica § 112). De versnelling van het aangrijpingspunt der kracht K is alzoo:

$$a\partial v = g \frac{a^2K}{Mm^2} \partial t;$$

waaruit volgt, als $\partial s = av\partial t$, den weg aanwijst door het aangrijpingspunt in den tijd ∂t afgelegd:

$$v\partial v = g \frac{K}{Mm^2} \partial s;$$

en voor de verkregen hoeksnelheid, wanneer de kracht K een weg s heeft afgelegd:

$$v^2 = 2g \frac{K}{Mm^2} s + C;$$

alzoo voor de snelheid $v' = av$ van het aangrijpingspunt:

$$v'^2 = 2g \frac{a^2K}{Mm^2} s + C.$$

Was de krukarm reeds in beweging en had het aangrijpingspunt eene snelheid c bij den aanvang van den weg s, dan heeft

men voor de snelheid v' bij het einde van dien weg, de vergelijking:

$$v'^2 - c^2 = 2g\frac{a^2Ks}{Mm^2}.$$

Is nu de middelbare snelheid $w = \frac{1}{2}(v'+c)$ gegeven, dan volgt uit de voorgaande vergelijking:

$$v'-c = \frac{g}{w}\cdot\frac{a^2Ks}{Mm^2};$$

waaruit men heeft:

$$c = w - \frac{ga^2Ks}{2wMm^2} \text{ en } v' = w + \frac{ga^2Ks}{2wMm^2}.$$

Als de middelbare snelheid van den krukarm 17 omwentelingen in de minuut bedraagt, dan geeft dit met de hiervoren gebruikte afmetingen, eene snelheid van 0,7477 el in de seconde voor het aangrijpingspunt der kracht, zeer na overeenkomende met de snelheid waarbij een arbeider gewoonlijk aan eene kruk werkt (§ 37). Rekent men verder dat de kruk gedurende $\frac{3}{4}$ gedeelte der $\frac{24}{11}$ omwentelingen geenen tegenstand ontmoet, en alzoo gedurende dien tijd versnelt, dan is de weg door het aangrijpingspunt in dien tijd afgelegd 4,318 el, of wel hier $s = 4{,}318$. Verder kan men $Mm^2 = 400$ stellen, omdat de straal van het drijfwiel een el bedraagt, en men zonder groote onnaauwkeurigheid de geheele massa van dat wiel als in de velgen vereenigd mag aannemen; met deze gegevens en $K = 10$ pond vindt men uit de beide laatste formulen $c = 0{,}623$ el en $v' = 0{,}873$ el; beide niet zeer veel afwijkende van de middelbare snelheid, en alzoo den arbeider veroorlovende om standvastig dezelfde drukking van 10 pond uit te oefenen.

Alles hetzelfde latende, en het gewigt van het drijfrad op de helft nemende, dan zou men nagenoeg $c = 0{,}50$ en $v' = 1$ el vinden, zijnde reeds vrij aanmerkelijke afwijkingen van de middelbare snelheid.

In de voorgaande berekeningen is de kracht die de raderen en hefboomen versnelt, niet in rekening gebragt. Werkelijk is de

massa van het getande rad en rondsel gering, en de snelheid van laatstgenoemde, benevens die van den grooten hefboom mede zeer klein; de kracht tot die versnellingen vereischt, is dan gering en heeft weinig invloed. Door die massa's in rekening te brengen, worden de afwijkingen der uiterste snelheden v' en c van de middelbare w, nog iets kleiner.

Zie hier nog eenige opgaven betrekkelijk het drukken van gaten door middel van dit werktuig, door den heer VAN OORDT medegedeeld. Bij het drukken van gaten 0,011 el in middellijn, in eene plaat van 0,004 el dikte, was de gemiddelde snelheid van het drijfrad 13,5 omwentelingen in de minuut, bij 0,007 el dikte 15 omwentelingen, en bij 0,010 el dikte, 17 omwentelingen. Voor gaten van 0,016 el middellijn, in platen van 0,004 el dikte, was de middelbare snelheid 20 omwentelingen, en bij 0,007 el dikte 24 omwentelingen. Bij gelijke middellijn der gaten, staan de derde magten der snelheden nagenoeg in reden als de dikte der platen.

ALGEMEENE REGELEN IN ACHT TE NEMEN, BIJ HET ONTWERPEN, ZAMENSTELLEN EN BEOORDEELEN VAN WERKTUIGEN.

§ 319. Uit al hetgeen in het voorgaande is bijgebragt, over de werking en zamenstelling der werktuigen, zal men eenige regels kunnen afleiden die men niet uit het oog moet verliezen, wanneer men werktuigen, die aan eenig bepaald oogmerk zullen beantwoorden, wil ontwerpen of zamenstellen, of wanneer men bestaande werktuigen wil beoordeelen.

Indien men eenig werktuig wil ontwerpen tot het verrigten van arbeid die te voren nog niet door werktuigen is verrigt, en men alzoo iets geheel nieuws wil zamenstellen, dan zal men in de eerste plaats zich moeten bezighouden een zamenstel uit te denken, waardoor die arbeid werktuigelijk zal kunnen verrigt worden, zonder zich dan nog op te houden met de wijze waarop het zamenstel zal bewogen worden, of door welke beweegkracht het werktuig zal werken. Indien men, bijvoorbeeld, een werktuig wil hebben om het vlas te spinnen, dan zal men moeten nagaan op welke wijze men de beweging der vingers en handen, door een of ander zamenstel van spillen, hefboomen enz. zou kunnen vervangen. Zoodra het te verrigten werk eenigermate zamenge-

steld is kan men eigenlijk moeijelijk regels geven, hoe het verlangde zamenstel te verkrijgen zal wezen; het onderzoeken van bestaande werktuigen, alwaar geheel of gedeeltelijk werkzaamheden verrigt worden, die eenigermate met de verlangde verrigtingen in het nieuwe werktuig overeenkomen, kunnen hier alleen tot handleiding dienen; het overige moet aan het vindingsvermogen overgelaten blijven. Door het vervaardigen van een model in het klein, zal men zich altijd eenigzins van de doeltreffendheid van het ontwerp kunnen overtuigen, en althans kunnen nagaan of de verlangde bewegingen al dan niet bestaanbaar zijn.

Zijn daarentegen de verrigtingen van het te ontwerpen werktuig eenvoudig, dan kan men met meer zekerheid van eenen gewenschten uitslag verzekerd zijn. Wil men bijv. een werktuig ontwerpen om hout te schaven, dan is in de eerste plaats de schaaf, waardoor het eigenlijke werk moet verrigt worden, reeds bekend; men heeft slechts na te gaan, op welke wijze aan de schaaf eene beweging kan gegeven worden, waardoor zij met juistheid in de verlangde rigting beweegt. Ligt het te bewerken hout onbeweeglijk, dan zal de schaaf niet alleen eene voortgaande of heen- en weêrgaande beweging moeten hebben, waardoor de snijdende kant van het schaafijzer in hetzelfde vlak beweegt, maar na elke streek van de schaaf, moet het ijzer nader aan het hout komen, en vervolgens het reeds geschaafde gedeelte door het opvolgende gedeelte vervangen worden.

De voortgaande of heen- en weêrgaande beweging van de schaaf kan op verschillende wijzen verkregen worden. Men kan het schaafijzer bevestigen aan den omtrek van een waterpasrad, met den snijdenden kant evenwijdig aan het vlak van het rad, alsdan beschrijft dit ijzer, bij de beweging van het rad, een vlak evenwijdig aan dat van het rad, en zal dus op eene daaronder geplaatste plank eene cirkelvormige groef voortbrengen. Plaatst men meer zulke ijzers op denzelfden straal van het rad, meer naar het middelpunt, dan zal men meer dan ééne groef gelijktijdig voortbrengen, die zelfs, bij eene gepaste plaatsing der ijzers, allen aan elkander kunnen sluiten, en alzoo eene breede groef voortbrengen, welke de geheele breedte van de plank inneemt.

De voortgebragte groef cirkelvormig zijnde, zal op de plank slechts een gedeelte schaven; men zal, òf het rad met de ijzers, òf wel de plank eene voortgaande beweging moeten geven; het

eerste is moeijelijk, omdat met dit rad ook de deelen van het werktuig, die de beweging van het rad overbrengen, bijv. rondsels, mede zouden dienen te bewegen; doch geeft men aan de plank eene beweging in de rigting van hare lengte, waarbij zij altijd op denzelfden afstand onder het rad met de schaafijzers blijft, dan kan het rad en de daarmede verbonden deelen op de plaats blijven, en evenwel komen er telkens andere plaatsen van de plank onder het rad; de cirkelvormige groeven zullen alsdan de geheele plank overdekken, en deze alzoo tot een plat vlak brengen. Meestal echter zijn de uitstekende deelen of ongelijkheden van het hout te groot, om bij eenen enkelen overgang van het schaafijzer te worden weggenomen; men zal dus nog de ijzers nader aan de plank, of deze nader aan de ijzers moeten brengen. Deze beweging zal echter in de eerste plaats zeer langzaam in vergelijking van die der ijzers moeten wezen, en in de tweede plaats zeer naauwkeurig de plank overal gelijktijdig moeten opligten of nader bij de ijzers brengen, opdat het eene gedeelte niet sterker dan het andere weggeschaafd worde.

In plaats van het hout naarboven te bewegen, zou men ook het rad met de ijzers op of neer kunnen bewegen, of ook de beweging van het hout tegen de ijzers kunnen ontwijken, door, in plaats van elke groef door een ijzer te doen vormen, eenige ijzers achter elkander te plaatsen die dezelfde groef doorloopen, doch achtervolgens dieper tasten, zoodat ieder ijzer slechts eene zeer dunne spaan van het hout wegneemt. Is de omtrek van het rad groot genoeg, om achtervolgens zooveel ijzers op dezelfde plaats van de plank te doen vatten, als noodig is om al de oneevenheden weg te nemen, dan zal men het hout slechts eene beweging volgens zijne lengte in hetzelfde vlak behoeven te geven, terwijl het rad ronddraait.

Eindelijk kan men, in plaats van vele ijzers op denzelfden straal van het rad te plaatsen, om daardoor vele groeven te gelijk voort te brengen, alleen ijzers op den buitenomtrek van het rad stellen, en de plank in haar vlak eene tweede beweging geven, waardoor achtervolgens verscheidene groeven naast elkander gevormd worden.

§ 320. Uit het hier behandelde voorbeeld zal men eenigermate den weg kunnen ontdekken, die in het algemeen bij het ontwerpen van dergelijke inrigtingen moet gevolgd worden; men

moet de verschillende bewegingen die het werktuig en de bewerkte stof moet ondergaan, trachten te ontleden in enkelvoudige bewegingen, zoo mogelijk regtlijnige of cirkelvormige, om daaruit de vereischte zamengestelde bewegingen te verkrijgen; daarbij oplettende of de doorgeloopen weg ook eenige afwijking gedoogt, dan wel of deze volkomen juist moet blijven. Evenzoo dient men na te gaan, of de snelheden bepaald zijn, dan wel of er ook eenige afwijking mag plaats hebben. Zoo zal, bijvoorbeeld, in het zooeven ontworpen schaafwerktuig, het rad met de schaafijzers volkomen juist in zijne tappannen moeten bewegen; alle zijdelingsche zwenkingen zullen nadeelig werken en het voortbrengen van een juist plat oppervlak beletten; de snelheid daarentegen van het rad kan zonder eenig nadeel aan ongelijkheden onderhevig zijn. De beweging van de plank tegen de ijzers of van het rad naar de plank, moet in volmaakt evenwijdige rigting geschieden, dewijl de plank anders niet overal even dik wordt; ook de snelheid dezer bewegingen zal aan weinig oneenparigheid mogen onderworpen zijn, omdat anders de schaafijzers dan eens te diep in het hout zullen tasten, en dan eens geheel vrij draaijen. De beweging in het vlak van de plank, waardoor de groeven over hare geheele oppervlakte verdeeld worden, behoeft noch volkomen eenparig, noch volkomen in eene zelfde rigting plaats te hebben, eenige afwijkingen hieromtrent veroorzaken alleen, dat de ijzers geen regelmatige strook op de plank wegschaven; doch indien de beweging slechts zoodanig is, dat elk deel van het oppervlak der plank op zijne beurt onder de ijzers komt, dan is dit tot het oogmerk voldoende.

De snelheid waarmede het rad met de schaafijzers ronddraait, zal door beproeving moeten geregeld worden. Bij geringe snelheid blijft het stilstaan, zoodra de tegenstand wegens knoesten of andere harde plekken te sterk wordt; bij te groote snelheid worden de ijzers heet en het staal verliest zijne hardheid.

§ 321. Het werk door eenig werktuig te verigten, kan somtijds op twee zeer verschillende wijzen verkregen worden: zoo hebben wij in § 307 en 309 twee wijzen beschreven om de buskruidsas te vervaardigen, namelijk door pletmolens of door stampmolens; daarbij heeft men, in het algemeen, eerst te onderzoeken door welke wijze het werk het best verrigt wordt. Zooals wij reeds aangemerkt hebben, wordt het buskruidsas onder de plet-

molens veel gelijkmatiger dooreengemengd dan bij de stampmolens; in dit opzigt verdienen de pletmolens de voorkeur. In de tweede plaats kan men nagaan, door welk zamenstel het verlangde werk met den minsten arbeid der beweegkracht verkregen wordt, dewijl meestal ook daarin aanmerkelijke bezuinigingen te vinden zijn; voor zoover namelijk als de kosten, tot het voortbrengen der beweegkracht vereischt, in aanmerking komen.

In het algemeen heeft men minder arbeid der beweegkracht noodig, naarmate men wrijvingen en botsingen ontwijken kan: zoo vereischt, bij voorbeeld, de pletmolen minder arbeid dan de stampmolen; zoo kan een molen, alwaar het ijzer tusschen cilinders tot staven getrokken wordt, met veel minder arbeid werken dan wanneer hamers het ijzer bewerken. Men heeft wel eens gemeend dat het staafijzer door cilinders geleverd, van minder goede hoedanigheid was dan dat door hamers bewerkt; is dit werkelijk het geval, dan heeft men te onderzoeken, of de meerdere kosten der beweegkracht bij de hamers, in evenredigheid staan met den hoogeren prijs dien men voor dit betere ijzer bedingen kan. Terwijl men ook wel, door aandachtig na te gaan waardoor die betere hoedanigheid verkregen wordt, indien er ten deze werkelijk verschil bestaat, op verbeteringen kan komen, waardoor aan het getrokken ijzer diezelfde goede eigenschappen als aan het gehamerde gegeven wordt.

Het zacht en zonder geruisch bewegen van eenig werktuig, is altijd een bewijs dat de botsingen of onregelmatige bewegingen zijn ontweken, en dus doorgaans een bewijs van goede oordeelkundige zamenstelling.

§ 322. Nadat men dan bij het ontwerpen van een geheel nieuw werktuig, het zamenstel zal gereed hebben, waardoor de verlangde arbeid kan verkregen worden, zal men te onderzoeken hebben, door welke beweegkracht, hetzij van menschen, paarden, wind, water of vuur, men het werktuig zal bewegen; gesteld namelijk dat men elk dier beweegkrachten naar goedvinden ter beschikking heeft. Hierbij komt eigenlijk hoofdzakelijk alleen in aanmerking welke krachten het goedkoopste werken. Men zal dus moeten nagaan de kosten van eerste oprigting der toestellen, waardoor elk der genoemde krachten op het ontworpen werktuig zullen werken, en verder de kosten om de kracht werkzaam te houden; namelijk het dagloon der menschen, de kosten der steen-

kolen enz., alsmede de kosten van onderhoud van het werktuig zelf; daarbij echter in aanmerking nemende, dat de kosten van eerste oprigting voor een werktuig dat jaren achtereen werkt, altijd veel minder in rekening komen, dan de dagelijksche besparing op de kosten der beweegkracht; deze laatste overtreffen meestal zeer spoedig de meerdere kosten van eerste oprigting. Eindelijk komt nog in aanmerking de meer of mindere ongestadigheid der beweegkracht. De wind bijvoorbeeld, die eigenlijk niets kost, kan men niet overal en vooral niet ten allen tijde hebben; hoe min kostbaar die kracht dan ook wezen moge, kan men haar niet gebruiken dáár waar de beweging ten allen tijde en met nagenoeg gelijke kracht, moet voorhanden zijn.

Het water kan in dit opzigt, hoewel kostbaarder, veel beter gebruikt worden; evenwel moeten de werktuigen eveneens, bij aanhoudende droogte, soms geheel of gedeeltelijk stilstaan. De groote zwarigheid bestaat in het verkrijgen dezer kracht in steden en op plaatsen waar men haar noodig heeft.

De stoom, even als het gebruik van menschen en paarden, is aan geen plaats of tijd gebonden, en kan overal worden aangewend; en daar de kosten der beweegkracht uit menschen en paarden veel hooger zijn dan die uit stoom, terwijl ook eene stoommachine veel mindere ruimte inneemt, in vergelijking van arbeiders of paarden die hetzelfde werk verrigten, zoo is het gebruik van den stoom zeer algemeen geworden; de geringe kosten in vergelijking met die van arbeiders of paarden heeft bijna overal waar de mededinging kon plaats hebben, den stoom doen verkiezen; daaraan is zelfs hoofdzakelijk de ongemeene verbreiding der werktuigen in lateren tijd toe te schrijven. De geringe kosten van den stoom in vergelijking van paarden, kan men onder anderen afleiden, uit het voorbeeld van § 145 en 146 voor een stoomwerktuig van 10 paardenkracht berekend; aldaar is gebleken, dat een werktuig alwaar de stoom bij uitzetting werkte, door het verbranden van 0,7 pond steenkolen in de minuut, een' arbeid van ruim 32 paardenkracht kon verrigten, dat is een' arbeid van 4500. 32 = 144 000 pond op een el; daarentegen kan men, volgens de opgaven van § 40, de arbeid van een paard per dag stellen op 1 166 600 pond op 1 el. Rekent men nu de kosten van 1000 pond steenkolen op 20 gulden, dan maakt dit 2 cent per pond, alzoo kan men voor 1,4 cent een' arbeid van 144 000 werkeenheden verkrijgen, en dus voor 11,33 cent

een arbeid van 1 166 600 eenheden, gelijkstaande met het dagelijksche werk van een paard, waarvan het onderhoud, aan voedsel alleen, nagenoeg driemaal zooveel kost.

Zelden zal men dus paarden en veel minder menschen gebruiken, dáár waar het der moeite waardig kan gekeurd worden, om een stoomwerktuig op te rigten. Rekent men het dagloon van een arbeider op 60 cent, dan kan men, volgens de tafel van § 37, voor die som een' arbeid van hoogstens 260 000 werkeenheden verkrijgen, alzoo voor 1,4 cent 6067 eenheden, terwijl men door een stoomwerktuig voor diezelfde som 144 000 eenheden kan hebben, of nagenoeg 24 maal zooveel arbeid; men zou dus kunnen zeggen dat een stoomwerktuig arbeiders levert, tegen 2,5 cent daags in plaats van tegen 60 cent. Het water kan alleen in aanmerking komen, als het op de plaats zelve, alwaar men de beweegkracht noodig heeft, aanwezig is en ten allen tijde voorhanden blijft; terwijl eindelijk de wind dan alleen te gebruiken is, als men het werk zonder zwarigheid naar goedvinden kan staken en hervatten. Hoewel de wind eigenlijk niets kost, moeten evenwel, bij eene vergelijking der kosten tusschen windmolens en stoomwerktuigen, het onderhoud der molens, de belooning van den molenaar enz. in rekening komen; even als dat der stokers, machinisten, enz. bij de stoomwerktuigen; doch hieromtrent zijn de omstandigheden te wisselvallig om hier behandeld te worden.

§ 323. De soort van beweegkracht, waarmede eenig werktuig zal bewogen worden, vastgesteld zijnde, zoo zal men nog de grootte dezer kracht, en dus het aantal arbeiders, paarden, of de grootte van den wind- of watermolen, of van het stoomwerktuig bepalen moeten, waarmede de arbeid zal verrigt worden. Daartoe is in de eerste plaats noodig, dat men bepale hoeveel arbeid men per dag of in het algemeen in eenen bepaalden tijd verrigten wil; bijvoorbeeld, hoeveel ponden buskruidsas men in eenen dag wil bereiden, hoeveel vierkante el hout men bezagen wil enz. Deze arbeid bekend zijnde, dan dient men te weten, met hoeveel werkeenheden het verrigten van een bepaald gedeelte arbeid overeenkomt; zoo hebben wij in § 308 opgegeven, hoeveel werkeenheden vereischt worden om één pond buskruidsas te vervaardigen, in § 303 het getal werkeenheden om eene vierkante el eikenhout te bezagen enz. Zoodra deze getallen bekend zijn, heeft het geene

de minste zwarigheid om de grootte der beweegkracht te bepalen. Doch zijn die getallen niet bekend, dan dient men die eerst door werkelijke proefneming op te sporen; kunnende men, bij gebrek aan zulke proeven, bij vergelijking van gelijksoortige werktuigen, die werkelijk beproefd zijn, eenigermate naar die getallen gissen, doch blijft men, vooral bij werktuigen die veel van de beproefde afwijken, aan vele misrekeningen blootgesteld.

Men heeft eerst in later tijd de noodzakelijkheid van naauwkeurige waarnemingen ingezien, vooral toen bij het aanmerkelijk vermenigvuldigen van werktuigen, het gemis daarvan zich dringend gevoelen deed. Een der nuttigste ondernemingen die men tot de meerdere volmaking der werktuigkunde verrigten kan, is voorzeker het doen van goede waarnemingen omtrent het getal werkeenheden die tot het verrigten van eenigen bepaalden arbeid noodig zijn. Die waarnemingen zijn, in het algemeen, niet zeer moeijelijk noch zeer kostbaar; men kan daartoe meestal den vang in § 10 beschreven, gebruiken. Indien men namelijk, in plaats van het werktuig, onder de werking der gewone beweegkracht, den arbeid te doen verrigten, het van het deel dat den arbeid verrigt, losmaakt en den vang aanbrengt, zoodanig belast, dat het werktuig met dezelfde snelheid als gewoonlijk voortgaat, dan meet de vang de voortgebragte werkeenheden, door de formule (1) van § 10 te berekenen. Men vindt in de meermalen aangehaalde *Aide-mémoire* van den generaal Morin (1) eene opgave van de werkeenheden tot verscheiden soort van arbeid, in bestaande werktuigen verbruikt, onder anderen ook bij het vervaardigen van geweren en de bewerking van het ijzer; terwijl men achter in het werk van Coriolis (2) daaromtrent ook eenige opgaven vindt.

Zijn de arbeidseenheden bekend die men per dag of per uur noodig heeft, dan kan men uit de opgaven, in de eerste Afdeeling medegedeeld, omtrent den arbeid der verschillende beweegkrachten, opmaken, hoeveel menschen of paarden, of welke soort van stoomwerktuig enz. men tot dien arbeid noodig heeft.

§ 324. Voor elke beweegkracht bestaat eene snelheid, waarbij men daarvan den meesten arbeid verkrijgt, even als er eene snelheid bestaat waarmede het deel des werktuigs, dat den arbeid

(1) Bladz. 289.
(2) *Du calcul des machines.*

verrigt, dien arbeid het best voortbrengt. Om dan een werktuig op het voordeeligst te doen werken, zullen beide hoofddeelen des werktuigs, ieder met eene bepaalde, doch meestal van elkander verschillende snelheid moeten arbeiden; daartoe dienen die beide deelen door tusschengeplaatste bewegende stukken, waardoor die snelheden gelijktijdig kunnen plaats hebben, verbonden te zijn. Meestal geschiedt dit door eenig raderwerk, een' hefboom of krukarm, waarvan in de hiervoren beschreven werktuigen, verscheidene voorbeelden te vinden zijn. Hieromtrent ontmoet men zelden zwarigheden; men zorge slechts die verbindingen zoo eenvoudig mogelijk te maken, en daarbij de wrijvingen te verminderen en de botsingen zooveel het zijn kan, te ontwijken. Het naauwkeurig nagaan der werking van goede bestaande werktuigen is daartoe de meest geschikte gids.

§ 325. De algemeene inrigting van het werktuig geregeld hebbende, moeten de afmetingen der verschillende deelen bepaald worden. Doorgaans kan men die in twee hoofdsoorten afdeelen: in deelen die gedurende de beweging van het werktuig in rust blijven, en in deelen die daarbij in beweging komen. Aan eerstgenoemden kan men zonder veel zwarigheid afmetingen geven, zwaarder dan voor de werking die zij te verduren hebben noodig is; men zal daardoor de kosten alleen eenigermate verhoogen. Somtijds kan zelfs eene verzwaring dier afmetingen nuttig zijn, als die deelen botsingen of schokken van het werktuig te verdragen hebben; hoe grooter in dat geval de massa der rustende deelen is, des te geringer zijn de snelheden die zij door de botsing verkrijgen en des te grooter de vastheid van het werktuig.

Bij de bewegende deelen, daarentegen, is het veeltijds van belang de afmetingen niet grooter te nemen dan voor den wederstand dier deelen noodig is. Niet zoozeer dat het in beweging brengen van grootere massa's meerder kracht vordert, maar daardoor vermeerdert tevens de drukking van die deelen op de steunpunten, en ten gevolge daarvan ook de wrijving en de weg door den tegenstand der wrijving bij de beweging afgelegd: want het grootere gewigt der drukkende deelen noodzaakt tevens tot eene verzwaring van tappen, spillen enz., waarover de wrijving plaats heeft. Vooral is dit in acht te nemen bij de deelen die groote snelheid verkrijgen, omdat aldaar de weg, door de wrijving afgelegd, in eenen bepaalden tijd zeer aanmerkelijk is. Men tracht

dan zooveel mogelijk aan de bewegende deelen den meesten tegenstand met de geringste hoeveelheid stof te geven. Zoo worden de hefbalken aan de steunpunten verzwaard, aan de einden dunner gemaakt en zooveel mogelijk in elke dwarsdoorsnede, die gedeelten alwaar weinig of geen zamendrukking of uitrekking plaats heeft, òf geheel weggelaten, òf aanzienlijk verzwakt, en daarentegen de deelen wier uitrekking of zamendrukking het grootst is, versterkt. Staven in de lengte getrokken, behouden over de geheele lengte dezelfde doorsnede; elke verzwaring op enkele punten is blijkbaar onnut. Worden zij volgens de lengte gedrukt, dan zal de doorbuiging in het midden het sterkst zijn; aldaar maakt men ze dan zwaarder dan aan de einden; door het aanbrengen van ribben of opstaande randen volgens de lengte, wordt, bij geringe gewigtsvermeerdering, de wederstand tegen het doorbuigen aanzienlijk vergroot. Assen die aanzienlijke drukkingen ondergaan, maakt men zoo kort mogelijk; terwijl in het algemeen, door de deelen van een werktuig bijeen te brengen, de afmetingen der deelen verminderd, en de wankelende of wringende bewegingen door aanmerkelijke doorbuigingen of uitrekkingen ontstaande, voorgekomen worden. Behalve de ruimtebesparing, somtijds van veel belang, wordt de gang der werktuigen door het beknopt ineenschikken der deelen, bijna altijd verbeterd.

§ 326. De drukking op de steunpunten vloeit voort uit het gewigt der deelen die daarop rusten, en uit de drukkingen of botsingen welke die deelen door de beweegkracht ondergaan. Naar aanleiding van het voorgaande, kan men door gepaste inrigting der deelen hun gewigt zooveel mogelijk verminderen. De drukkingen door de werking der beweegkracht ontstaande, hangen van de grootte dier kracht af; kan men die drukkingen in tegengestelde rigting doen werken van die door het gewigt der deelen voortgebragt, dan dragen de steunpunten slechts het verschil in plaats van de som dier drukkingen. Bij zware bewegende deelen, zooals wentel-assen van stampmolens enz., kan men op die wijs de drukking op de steunpunten merkelijk verligten. Gesteld in zulk eenen molen is de wentelas horizontaal, en werken de stampers op vuisten langs de as verdeeld; wordt nu de beweging medegedeeld door een getand rad op de as bevestigd, dan zal, bij eene eenparige beweging, het gemiddeld moment der stampers ten opzigte van het middelpunt der as, gelijk zijn aan het moment der

drukking op de tanden van het rad. De as ondergaat hierdoor eene drukking gelijk aan de som of het verschil der drukkingen op het rad en de vuisten: namelijk, gelijk aan de som, indien de vuisten ligten aan de ééne zijde van de as, en het punt van den steekcirkel, waarop de bewegende kracht werkt, aan de andere zijde van het rad is gelegen; en gelijk aan het verschil, als beiden aan dezelfde zijde der as zijn geplaatst. In het eerste geval werkt de som der drukkingen in dezelfde rigting als het gewigt der as, zoodat de steunpunten die som en het gewigt der as dragen. In het tweede geval dragen de steunpunten slechts het verschil dier drukkingen en het gewigt der as, en daar dit verschil nog in tegengestelde rigting van het gewigt der as werkt, indien de straal van den steekcirkel kleiner is dan de straal waarop de stampers werken, zoo kan men, door eene gepaste plaatsing en afmeting der deelen, de drukking en alzoo de wrijving aanmerkelijk verminderen.

Door op eene dergelijke wijs de grootte en rigting der drukkingen op de steunpunten na te gaan, zal men dikwijls die drukkingen en alzoo de wrijvingen merkelijk kunnen verminderen. Men kan in het algemeen, bij draaijende bewegingen, hetzij die door getande raderen of riemen zonder einde worden overgebragt, opmerken dat, wanneer de last en de kracht aan dezelfde zijde eener as werken, die as slechts het verschil der drukkingen, en in het tegengestelde geval de som daarvan draagt. In sommige gevallen echter wordt het verschil tusschen de kracht en den last, van positief, negatief; alsdan verandert de rigting der drukking eveneens; de as drukt dan niet bij voortduring op dezelfde punten, maar wordt beurtelings op- en neêrgedrukt. Zulke afwisselingen hebben veeltijds botsingen ten gevolge, die vooral bij aanzienlijke drukkingen moeten ontweken worden; ook dit kan men verkrijgen door eene oordeelkundige inrigting en schikking der punten, waarop de lasten en krachten werken.

§ 327. Wanneer de oneenparigheid der beweging van de deelen eens werktuigs binnen enge grenzen bepaald blijft, zoodat men weinig van de waarheid afwijkt, door eene eenparige beweging te onderstellen, dan kan men zonder moeite de grootte der drukkingen op de bewegende deelen van het werktuig bij benadering vinden, de grootte der bewegende kracht gegeven zijnde. Want daar op elk punt de arbeid der aldaar bestaande drukking gelijk

moet zijn aan dien der kracht (men onderstelle slechts het werktuig bij het beschouwde punt als afgebroken, en aldaar een tegenstand aangebragt, gelijk aan de drukking in dat punt), zoo kan men, uit den weg in eenen bepaalden tijd door het aangrijpingspunt afgelegd, besluiten tot de grootte der drukking; althans indien de uitgeoefende drukking in de rigting van dien weg werkt. Derhalve zal men in zulk een geval mogen besluiten, dat die drukking omgekeerd evenredig is aan de snelheid van dit punt. Zoo kan men bijv. stellen, dat bij de ronddraaijende beweging van getande raderen, de drukkingen aan den omtrek der steekcirkels omgekeerd evenredig zijn aan de snelheden, omdat aldaar de drukkingen zeer nabij in de rigting van den weg, dat is rakende aan die steekcirkels werken. Hetzelfde heeft plaats bij riemen of koorden zonder eind.

Doordien er bij elke ronddraaijende spil eenige arbeid verloren gaat, is eigenlijk de arbeid der overgebragte drukking op eenigen steekcirkel altijd iets minder dan die van het punt dat dien cirkel beweegt, diensvolgens is de drukking op de spil iets minder. Beginnende alzoo van het punt alwaar de bewegende kracht is aangebragt, dan zal de drukking op de volgende spillen telkens iets minder zijn dan die uit de omgekeerde reden der snelheden afgeleid. Het tegendeel zal plaats hebben als men de drukking op den steekcirkel het naast aan den last tot grondslag neemt, en uit de grootte van den last afleidt, om daaruit de drukking op de spillen meer nabij de bewegende kracht te berekenen. Men verkrijgt uit die twee handelwijzen, twee grenzen, waartusschen de juiste drukkingen gelegen zijn; daaruit kan men dan meestal die drukkingen en den arbeid door hare wrijving verbruikt, naauwkeurig genoeg bepalen.

§ 328. Nemen wij tot voorbeeld een zaagmolen, zooals die in § 299 en volg. beschreven, en onderstellen wij dat, naar de opgaven van § 303, er in de minuut 1,5 vierkante el bezaagd, en alzoo daartoe een arbeid besteed wordt van 1,5.150000 arbeidseenheden. Laat de molen met eene snelheid van 60 enden in de minuut omgaan, of de wieken in dien tijd 15 omwentelingen doen, zij verder de straal r' van het bovenwiel 1,37 el, de straal van de molenas bij de wieken 0,346 el, de straal R van het rondsel of den schijfloop 0,5 el, de straal van zijne spil 0,064 el, de krukarm $d = 0,231$ en de halve ijzerdikte d' dier kruk, ter

plaatse alwaar de kolderstok de kruk omvat, eveneens 0,064 el; welke afmetingen nagenoeg overeenkomen met die van den molen in Fig. 78 voorgesteld; het bovenwiel heeft 41 tanden en de schijfloop 15 staven.

Als nu de molenas 15 maal rondgaat, gaan de zagen in dien tijd $15\frac{r'}{R} = 41,1$ maal op en neêr; is dan de gemiddelde tegenstand der zagen L, zoo is de arbeid in een' heen- en weêrgang verbruikt $4d\,L = 0,924\,L$, en daar er in de minuut 1,5.150 000 = 225 000 arbeid geleverd wordt, is dit bij elken heen- en weêrgang $\frac{225\,000}{41,1} = 5474,5 = 0,924\,L$, alzoo de gemiddelde last 5914 pond. Deze arbeid aan de zagen noodig zijnde, zoo moet de kracht aan den krukarm ook nog de wrijving der ramen in hunne sponningen en die van het oog aan den kolderstok om den krukarm overwinnen: eerstgenoemde kan men rekenen reeds onder den aangenomen arbeid der zagen begrepen te zijn; voor de wrijving aan het oog van den kolderstok kan men rekenen dat de gemiddelde drukking 5914 pond bedraagt, de halve dikte van den krukarm 0,064 zijnde, zoo is de arbeid der wrijving bij eene geheele omwenteling $5914 . 2\pi . 0,064 . 0,12 = 285,4$ (den wrijvingscoëfficient op 0,12 gesteld). De totale arbeid aan den krukarm is dus $5474,5 + 285,4 = 5759,9$.

Het verlies aan arbeid door de wrijving op de spil der schijfloop, bij de molenas en op de tanden van het bovenwiel, kan berekend worden door de formule (*d*) van § 199; omdat hier de bewegende kracht te gelijk op de vier wieken werkende, een koppel van krachten levert om de molenas te draaijen. Voor de aangehaalde formule hebben wij dan: $r' = 1,37$, $\rho' = 0,346 . 0,12 = 0,04152$, $R = 0,5$, $\rho = 0,064 . 0,12 = 0,00768$, $T = 15$, $t' = 41$, $m = 2\pi f = 2\pi . 0,12 = 0,7540$, en alzoo $A = 1,1326\,M$, of voor $M = 5739,7$, $A = 6499,8$; of nagenoeg 6500 ponden op 1 el hoogte, voor den arbeid op de molenwieken bij eene omwenteling der kruk. Dit maakt $\frac{0,5}{1,37} . 6500 = 2372$ bij eene omwenteling der wieken. Stelt men het middelpunt der drukking van den wind op de helft der lengte van de wieken, of op 6,5 el uit het middelpunt, dan is de weg bij eene omwenteling $2\pi . 6,5 = 40,84$ el, en dus de drukking op de vier wieken 58,1 pond, of op elke

wiek 14,5 pond. De arbeid op de zagen van 5474,5
op de molenwieken 6500, dat is 1,19 van den nuttige
er gaat alzoo nagenoeg één vijfde van den arbeid door d
verloren. Wij hebben hier het gewigt van de wieken
lenas, die de drukking op de steunpunten vermeerd
medegerekend, maar daarentegen de prop aan het
van de molenas en die daar tot tap dient, stilzwijg
dik als de hals bij de wieken gerekend, ofschoon die
kelijk dunner is.

§ 329. In de meeste werken in dit geschrift aange
men uitvoerige en merkwaardige voorbeelden van bestaa
tuigen vinden; hoofdzakelijk zijn de navolgende werk
te raadplegen.

Barlow, *Encyclopaedia metropolitana*, *Art. manufacture*
deelen afzonderlijk verkrijgbaar.

Nicholson, *The operative Mechanik*. 8° London 1835.

Gerstner, *Handbuch der Mechanic*. Wien 1834, in
len 4° met Atlas.

Le Blanc, *Recueil de machines*, Altas met verklaring
Paris.

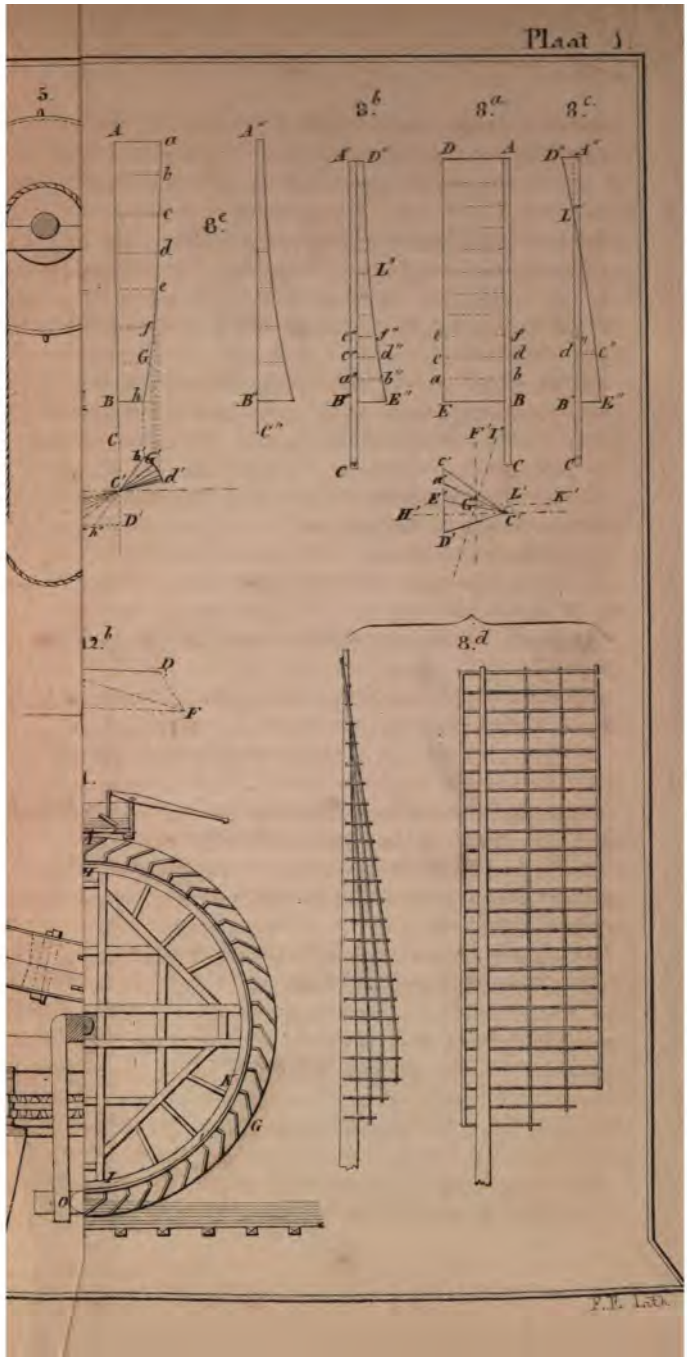
Borgnis, *Traité complet de mécanique appliquée*, 8
Paris 1818—1821.

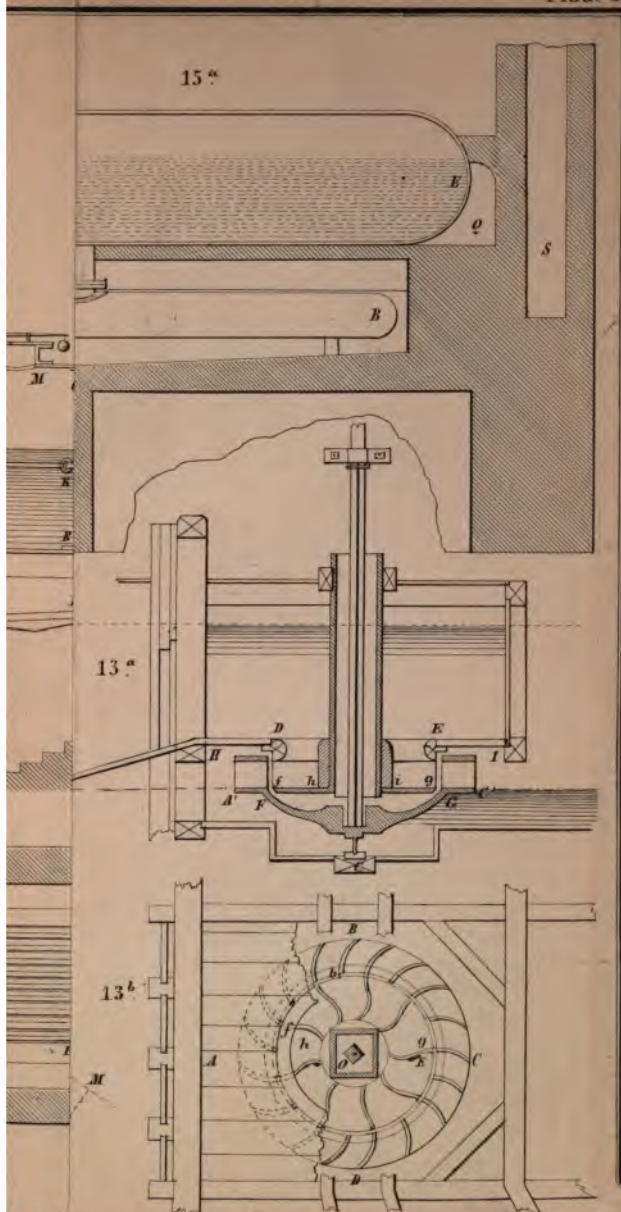
Verdam, *Gronden der toegepaste werktuigkunde*, 4 dee
platen 1828—37.

Allgemeine Machinen-Encyclopädie, herausgegeben von
im Verein mit G. Altmütter *etc.* Leipzig 1839.

Armengaud, *Publication industrielle des machines outil*
reils les plus perfectionnés et les plus récents, 8 deelen
Atlas.

Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik von J.
Braunschweig 1845—46 3 Deelen.

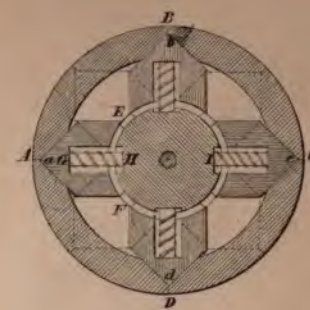

5.
8.c
8.b
8.a
8.c
12.b
8.d
L.



Bogaerts lith

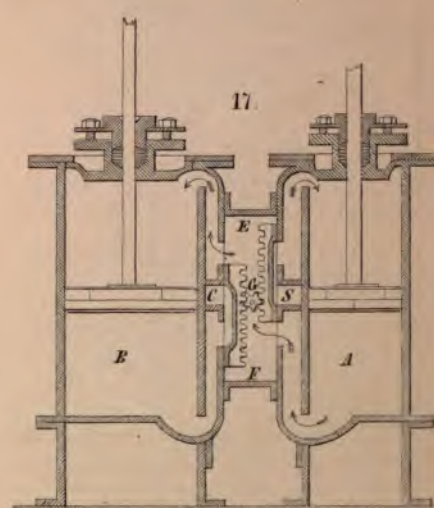
19.

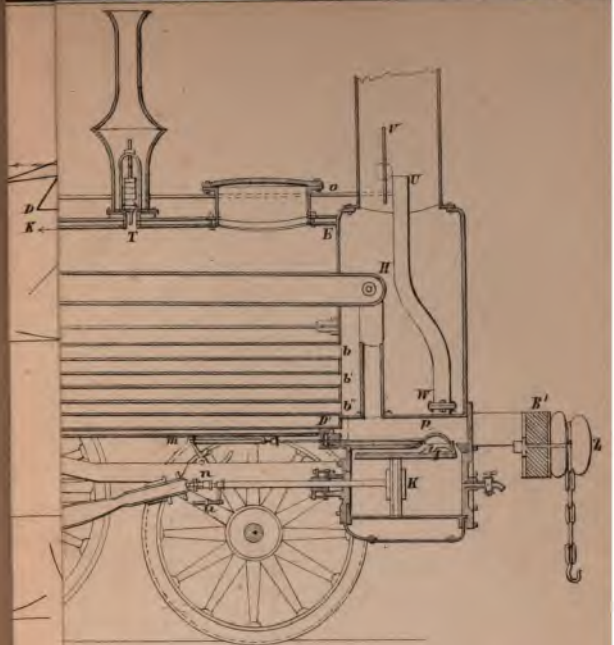
18ᵃ

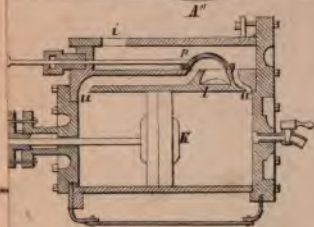


18.ᵇ

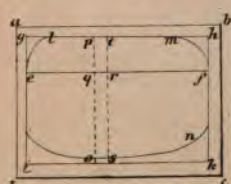
17.

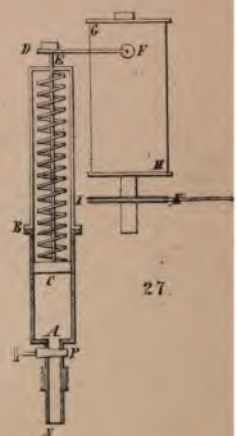




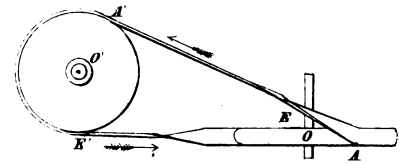


28.

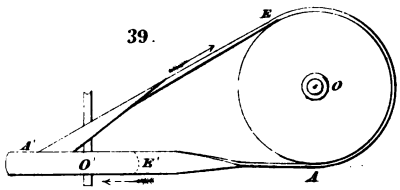




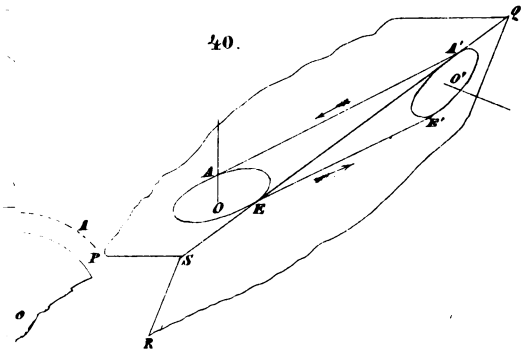
27.



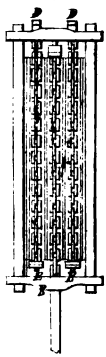
39.



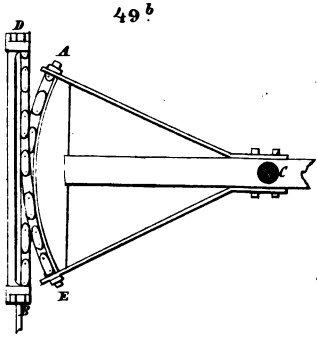
40.



49 a



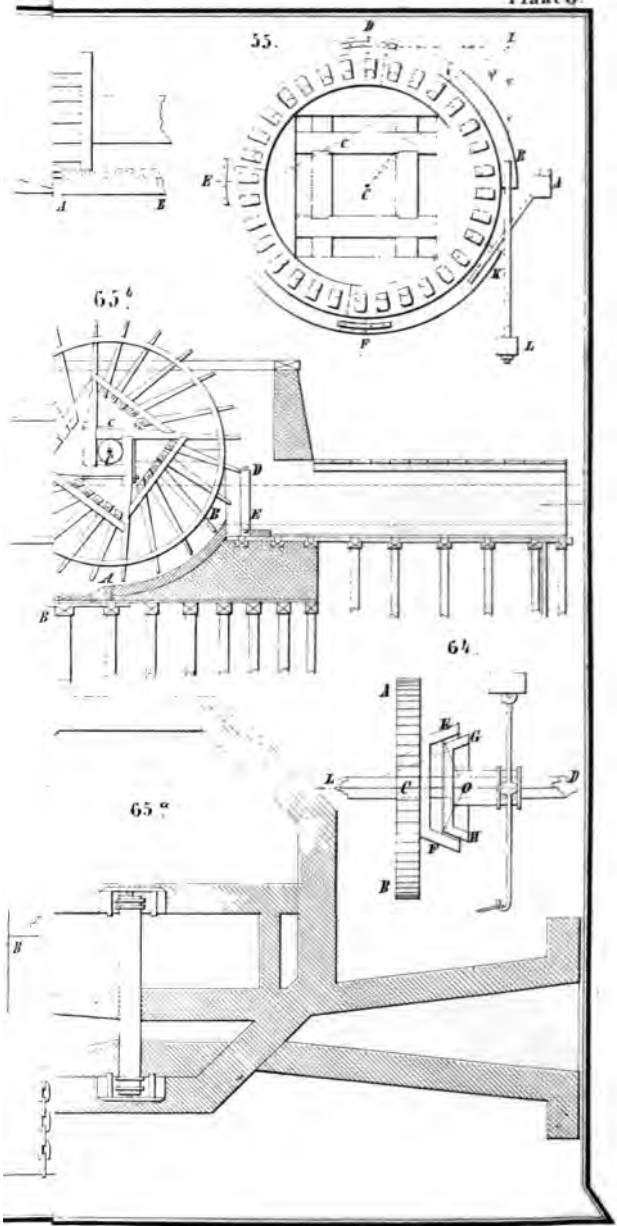
49 b



6.

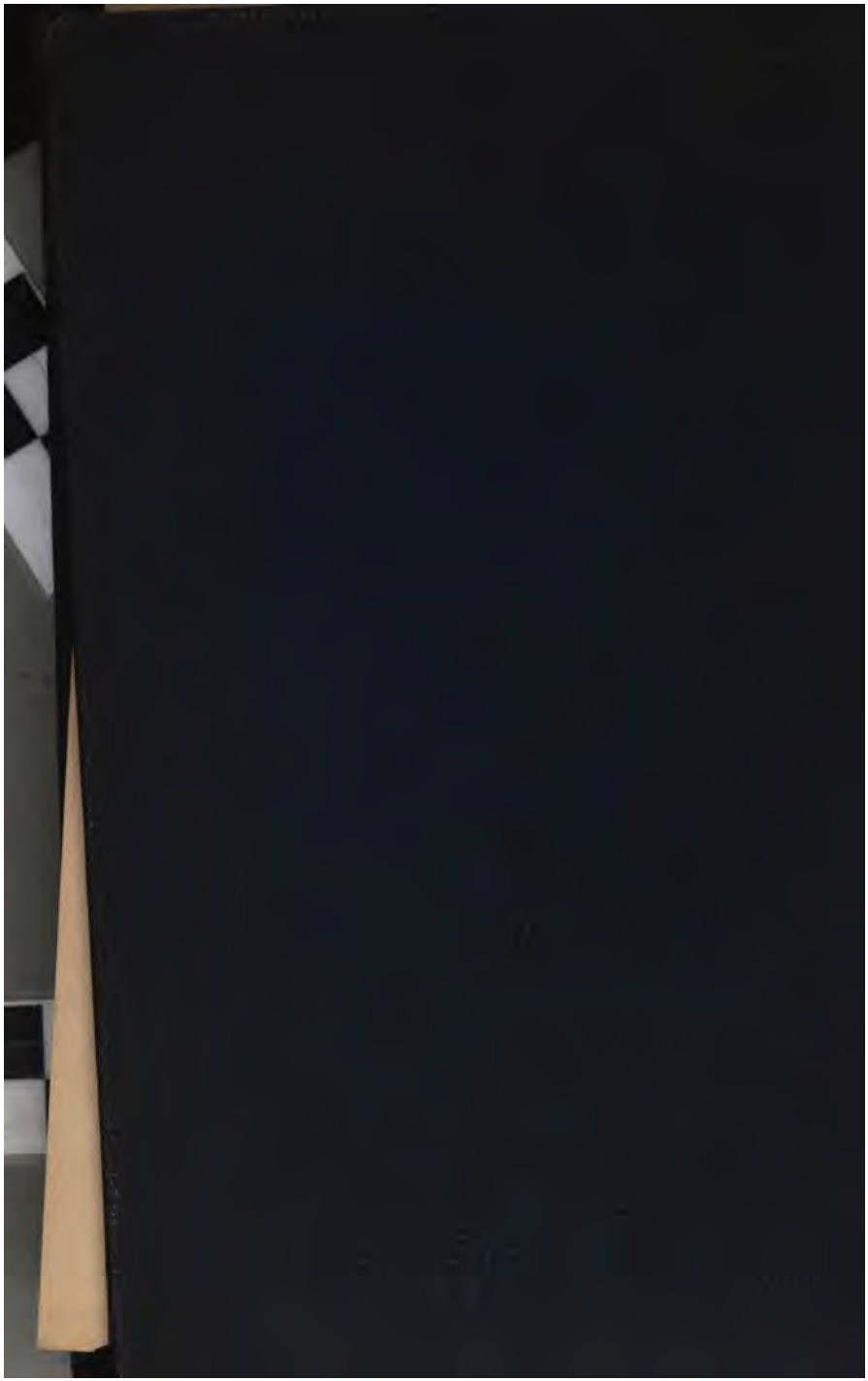
Bogaerts lith.

[redacted]



Bogaerts lith.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

This book is under no circumstances to be taken from the Building

Form 419